

**Calidad de aquenio y aceite de girasol. Efectos del genotipo,
factores ambientales y su interacción y relación con el rendimiento y
sus componentes**

*Tesis presentada para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos
Aires, Área Ciencias Agropecuarias*

Alberto Mario Peper
Ing. Agrónomo U.N.N.E 1981
M. Sc. U.B.A. 2002

Monsanto Argentina
Desarrollo de Tecnologías
Gerente Sistemas Agronómicos y Sustentabilidad



FAUBA

Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires



COMITÉ CONSEJERO

Director de tesis

Aguirrezabal, Luis Adolfo N.

Ingeniero Agrónomo U.N.M. del P.

Doctorado En Fisiología Vegetal. Université Blaise Pascal
(Clermont Ferrand II), Francia.

Co-director

Nolasco, Susana María

Ingeniero Químico. UNCPBA

Magister en Investigación Biológica Aplicada en el Área de Ciencias
Agropecuarias. UNCPBA

Consejero de Estudios

Antonio J. Hall

Ingeniero Agrónomo UBA

Doctorado. UBA

IFEVA Facultad de Agronomía (UBA)/CONICET

JURADO DE TESIS

Director de tesis

Aguirrezabal, Luis Adolfo N.

Ingeniero Agrónomo U.N.M. del P.

Doctorado En Fisiología Vegetal. Université Blaise Pascal
(Clermont Ferrand II), Francia.

JURADO

Balzarini, Mónica Graciela

Ing. Agr. - Universidad Nacional de Córdoba

Ph.D. - Louisiana State University

JURADO

Rondanini, Déborah Paola

Ing. Agr. - Universidad de Buenos Aires

Dra. en Cs. Agropecuarias - Universidad de Buenos Aires

JURADO

Hernández, Luis Francisco

Ing. Agr. - Universidad Nacional del Sur

Ph. D. - University of New South Wales

Fecha de defensa de la tesis: 27 de Abril de 2015

Dedicatoria

A Graciela, mi esposa

Agradecimientos

Al beato Álvaro del Portillo a quien acudí como intercesor, pidiendo la Gracia de realizar bien mi trabajo, de manera que sea una ofrenda agradable a Dios.

A Antonio, Luis y Susana, mis maestros, por su constante ayuda y direccionamiento, invirtiendo tiempo y esfuerzo, más allá de sus responsabilidades.

A Mónica Aulicino, por su disponibilidad, ayuda y valiosos consejos.

A Monsanto LAS, en la persona de Santiago Mazzini, por el apoyo brindado para realizar este trabajo.

Índice General

Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iii
Índice General	iv
Índice de tablas.....	viii
Índice de Tablas Anexo I	ix
Índice de Figuras	xii
Índice de Figuras Anexo I	xiv
Declaración	xvii
Glosario de abreviaturas y significados	xviii
Resumen.....	xx
Abstract	xxi
Capítulo 1:.....	1
A. Introducción general	2
1. Contribución relativa de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E sobre el rendimiento y la calidad del fruto y del aceite de girasol	3
2. Determinación del momento ontogénico de mayor impacto de las características ambientales sobre las características de calidad de granos y aceite de girasol.	6
3. Respuesta de las características de calidad a la variación del rendimiento en aceite, del peso y número de granos y de los factores ambientales en forma combinada.....	8
4. Establecimiento de un modelo conceptual	13
5. Análisis conjunto de las características fenotípicas y ambientales.....	14
B. Objetivos e Hipótesis.....	14
1. Objetivos.....	14
6. Hipótesis	15
C. Estructura de la tesis	15
Capítulo 2: Materiales y métodos	18
A. Genotipo	19
B. Ambientes	19
C. Fenología	20
D. Caracterización edáfica.....	21
E. Caracterización climática.....	22

F. Evaluaciones a campo.....	23
G. Análisis de laboratorio.....	24
H. Agrupación de localidades en función de características ambientales	26
I. Diseño experimental y modelo estadístico	26
J. Metodología de análisis:.....	27
Capítulo 3: Selección de agrupaciones de Ambientes y análisis del efecto de las variables ambientales sobre el rendimiento en aceite, peso y número de achenios del girasol.....	30
A. Introducción.....	31
B. Generación de grupos de localidades.	32
C. Rendimiento y sus componentes	39
1. Descripción general.....	39
2. Contribución relativa de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E.....	40
3. Determinación de la fase ontogénica de máxima respuesta al efecto combinado de factores ambientales.....	45
4. Efecto de los factores ambientales sobre el rendimiento en aceite y sobre el número y peso de achenios.....	46
D. Conclusiones.....	50
Capítulo 4: Peso de cáscara y aptitud al descascarado.....	52
A. Introducción.....	53
B. Cáscara.....	55
1. Contribución relativa de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E - Determinación de la fase ontogénica de máxima respuesta al efecto combinado de factores ambientales	55
2. Respuesta del peso de cáscara a la variación combinada de factores ambientales con el rendimiento en aceite y con el peso y número de granos	56
3. Discusión	59
C. Aptitud al descascarado	59
1. Contribución relativa de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E - Determinación de la fase ontogénica de máxima respuesta al efecto combinado de factores ambientales	60
2. Respuesta de la aptitud al descascarado a la variación del rendimiento en aceite, del peso y número de granos y de los factores ambientales en forma combinada.....	60
D. Conclusiones.....	65
Capítulo 5: Ceras en aceite de Girasol	66
A. Introducción.....	67
B. Resultados y discusión.....	69

1. Contribución relativa de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E - Determinación de la fase ontogénica de máxima respuesta al efecto combinado de factores ambientales	69
2. Respuesta de la concentración de ceras en aceite a la variación del rendimiento en aceite, del peso y número de granos y de los factores ambientales en forma combinada.	72
C. Conclusiones.....	75
Capítulo 6: Fosfolípidos.....	76
A. Introducción.....	77
B. Resultados y discusión.....	79
1. Contribución relativa de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E - Determinación de la fase ontogénica de máxima respuesta al efecto combinado de factores ambientales	79
2. Respuesta de la concentración de fosfolípidos en aceite a la variación del rendimiento en aceite, del peso y número de granos y de los factores ambientales en forma combinada.	82
C. Conclusiones.....	87
Capítulo 7: Tocoferoles.....	89
A. Introducción.....	90
B. Resultados y discusión.....	93
1. Contribución relativa de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E - Determinación de la fase ontogénica de máxima respuesta al efecto combinado de factores ambientales	94
2. Respuesta de la concentración de tocoferoles en aceite a la variación del rendimiento en aceite, del peso y número de granos y de los factores ambientales en forma combinada.	96
C. Conclusiones.....	103
Capítulo 8: Composición ácida del aceite de girasol	105
A. Introducción.....	106
1. Definición de calidad.....	106
2. Efecto del Genotipo sobre la composición ácida.....	107
3. Efecto de las condiciones ambientales sobre la composición ácida del aceite de girasol.	107
4. Efecto de las prácticas agronómicas sobre la composición ácida.....	110
B. Ácidos grasos saturados.....	111
1. Contribución relativa de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E - Determinación de la fase ontogénica de máxima respuesta al efecto combinado de factores ambientales	112
2. Respuesta de los ácidos saturados a la variación del rendimiento en aceite, del peso y número de granos y de los factores ambientales en forma combinada.....	113
C. Ácidos grasos insaturados.....	118

1. Contribución relativa de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E - Determinación de la fase ontogénica de máxima respuesta al efecto combinado de factores ambientales	118
2. Determinación del momento de mayor impacto de las características ambientales.	119
3. Relación de la concentración de ácidos grasos insaturados con otras características genotípicas.	120
4. Respuesta de los ácidos grasos insaturados a la variación del rendimiento en aceite, del peso y número de granos y de los factores ambientales en forma combinada.	121
D. Conclusiones.....	127
Capítulo 9 Estabilidad oxidativa del aceite de girasol	129
A. Introducción.....	130
B. Resultados y discusión.....	131
1. Contribución relativa de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E - Determinación de la fase ontogénica de máxima respuesta al efecto combinado de factores ambientales	132
2. Respuesta de la estabilidad oxidativa a la variación en el rendimiento en aceite, en el peso y número de granos y en los factores ambientales en forma combinada.....	133
C. Conclusiones.....	137
Capítulo 10: Análisis conjunto de las características de calidad, discusión y conclusiones generales.....	139
A. Síntesis y visión global de la investigación	140
1. Delimitación de zonas o identificación de Ambientes.	140
2. Contribución relativa de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E a la variabilidad en las características estudiadas.....	143
3. Determinación del momento de mayor impacto de las características ambientales.	145
4. Respuesta de las características de calidad a la variación del rendimiento en aceite, del peso y número de granos y de los factores ambientales en forma combinada.....	146
5. Reconstrucción del modelo conceptual inicialmente propuesto en función de los resultados observados.....	151
B. Cumplimiento de Hipótesis y de Objetivos	153
C. Resultados adicionales.....	156
D. Perspectivas	157
Bibliografía	158

Índice de tablas

Tabla 2 1: Descripción de las características fenotípicas de los cultivares.....	19
Tabla 2 2: Ubicación geográfica, fecha de siembra y cultivo antecesor de las localidades (Ambientes) seleccionados para los ensayos.	20
Tabla 2 3: Fenología del cultivo.	21
Tabla 2 4: Características de los suelos de las distintas localidades de ensayo.	22
Tabla 2 5: Características meteorológicas.....	23
Tabla 3.1: Análisis de la varianza para rendimiento en aceite y en aquenios, para peso y número de granos en función de los diferentes Genotipos y de las agrupaciones de Ambientes.	41
Tabla 3. 2: Contribución relativa del Genotipo, de las características ambientales evaluadas y de sus interacciones a la variabilidad total del rendimiento en aceite en función de las diferentes fases ontogénicas estudiadas.	42
Tabla 3.3: Listado de las localidades pertenecientes a las agrupaciones de Ambiente generados en función de cada uno de los criterios de Zonas agroecológicas, Productividad media y Nitrógeno inicial disponible	45
Tabla 5.1: Contribución relativa del Genotipo, del contenido de aceite por grano y su interacción a la variabilidad total del contenido de ceras por grano.	71
Tabla 7.1: Contribución relativa del Genotipo, del contenido de aceite por grano y de su interacción a la variabilidad total del contenido de tocoferoles totales por grano y en aceite.	99
Tabla 7.2: Contribución relativa del Genotipo, del contenido de nitrógeno inicial en el suelo y de su interacción a la variabilidad total de la concentración de tocoferoles en aceite determinado.....	101
Tabla 8.1: Análisis de la varianza y comparación de valores medios de los datos obtenidos en el ensayo de respuesta a la fertilización para las concentraciones de ácido oleico y linolénico en aceite.	124
Tabla 9.1: Valores medios, desvío estándar, mediana, máximos y mínimos de estabilidad oxidativa del aceite agrupadas por zonas NEA y zonas OESTE Y SUR.....	132
Tabla 9.2: Valores medios de estabilidad oxidativa (h) de los híbridos evaluados. Zonas agrupadas en función del análisis de distribución de datos en Oeste + Sur y NEA.....	132
Tabla 9.3: Contribución relativa a la variabilidad total de la estabilidad oxidativa del aceite, del ácido oleico (%), de la concentración de aceite en el grano (aceite total (%), de la concentración de tocoferoles en aceite y del índice de Iodo, para las zonas agroecológicas Oeste y Sur (sin NEA) y todas las zonas en conjunto (completa).	136
Tabla 10.1: Valores medios del % de la varianza total explicados por Ambiente y por Genotipo para el conjunto de datos y valores absolutos observados para los grupos formados en función de las características fenotípicas y ambientales seleccionadas en este trabajo.	142

Índice de Tablas Anexo I

Tabla A2.1: Evaluación de la variabilidad intra localidad (block): Análisis de la varianza.	2
Tabla A3.1: Valores medios, mediana, desvío estándar (D.E.), mínimos (Min) y máximos (Max) del rendimiento y sus componentes, y de las características de aceite y frutos estudiadas.	3
Tabla A3.2: Valores medios para rendimiento y sus componentes y para las características de cultivo y ambientales correspondientes a cada región agroecológica.	4
Tabla A3.3: Valores medios para rendimiento y sus componentes y para las características de cultivo y ambientales correspondientes a cada grupo de localidades aglomeradas por el criterio de índice de productividad ambiental.	5
Tabla A3.4: Valores medios para rendimiento y sus componentes y para las características de cultivo y ambientales correspondientes a cada grupo de localidades aglomeradas por el criterio de agua total disponible durante el ciclo del cultivo.	6
Tabla A3.5: Valores medios para rendimiento y sus componentes y para las características de cultivo y ambientales correspondientes a cada grupo de localidades aglomeradas por el criterio de evapotranspiración durante el ciclo del cultivo.	7
Tabla A3.6: Valores medios para rendimiento y sus componentes y para las características de cultivo y ambientales correspondientes a cada grupo de localidades aglomeradas por el criterio del rendimiento medio y nitrógeno inicial disponible.	8
Tabla A3.7: Valores medios para rendimiento y sus componentes y para las características de cultivo y ambientales correspondientes a cada grupo de localidades aglomeradas por el criterio del rendimiento medio, del nitrógeno inicial disponible y del agua útil disponible.	9
Tabla A3.8: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total del número de granos en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas.	11
Tabla A3.9: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total del peso de granos en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas.	11
Tabla A3.10: Análisis de correlación entre rendimiento, número de granos (MG) y peso de granos (PG) con las características fenotípicas y ambientales detalladas en la tabla.	12
Tabla A3.11: Análisis de correlación entre características ambientales incluidas en los modelos desarrollados.	13
Tabla A3.12: Análisis de correlación entre características fenotípicas y ambientales.	14
Tabla A4.1: Contribuciones de los factores G, E y GxE a la varianza para porcentaje y peso de la cáscara y para la aptitud al descascarado en función de los diferentes genotipos y de las agrupaciones de ambientes seleccionados en función de los resultados del Cap. III.	16

Tabla A4.2: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total del porcentaje de cáscara del grano en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas.....	17
Tabla A4.3: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total para peso de la cáscara del grano en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas.....	18
Tabla A4.4: Análisis de correlación entre cáscara (%), Cáscara (mg.grano-1), aptitud al descascarado (%) y %aceite/Cáscara (mg.grano-1) con las características fenotípicas y ambientales detalladas en la tabla.....	19
Tabla A4.5: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la aptitud al descascarado en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas.	20
Tabla A5.1: Contribuciones de los factores G, E y GxE a la varianza total para el contenido de ceras en aceite, en akenios y del porcentaje de aceite en función de los diferentes genotipos y de las agrupaciones de ambientes seleccionados en función de los resultados del Cap. III.	21
Tabla A5.2: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración de ceras en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas.	22
Tabla A5.3: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total del contenido de ceras por grano en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas.	23
Tabla A5.4: Análisis de correlación entre ceras en grano (mg.grano-1) y ceras en aceite ($\mu\text{g.g aceite-1}$) con las características fenotípicas y ambientales detalladas en la tabla.	24
Tabla A6.1: Contribuciones de los factores G, E y GxE a la varianza total para el contenido de fosfolípidos en función de los diferentes genotipos y de las agrupaciones de ambientes seleccionados en función de los resultados del Cap. III.	26
Tabla A6.2: Contribución relativa del Genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración de fosfolípidos en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas.	27
Tabla A6.3: Análisis de correlación entre fosfolípidos (mg.g aceite-1), PE (mg.g aceite-1), AP (mg.g aceite-1), PI (mg.g aceite-1), y PC (mg.g aceite-1) con las características fenotípicas y ambientales detalladas en la tabla.	28
Tabla A6.4: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración del compuesto PE en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas.....	29
Tabla A6.5: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración del compuesto AP en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas	30
Tabla A6.6: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración del compuesto PI en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas.....	31
Tabla A6.7: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración del compuesto PC en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas.....	32
Tabla A7.1: Contribuciones de los factores G, E y GxE a la varianza total para el contenido de tocoferoles en grano y de la concentración en aceite de tocoferoles totales y de los isómeros α -tocoferol y β -tocoferol en función de	

los diferentes genotipos y de las agrupaciones de ambientes seleccionados en función de los resultados del Cap. III.	33
Tabla A7.2: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración de tocoferoles totales en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas	34
Tabla A7.3 Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración de α -tocoferol en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas	35
Tabla A7.4: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración de β -tocoferol en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas.	36
Tabla A7.5: Análisis de correlación entre tocoferoles ($\mu\text{g.g aceite-1}$), α -tocoferol ($\mu\text{g.g aceite-1}$) y β -tocoferol ($\mu\text{g.g aceite-1}$) con las características fenotípicas y ambientales detalladas en la tabla.	38
Tabla A8.1: Contribuciones de los factores G, E y GxE a la varianza total para la concentración de los ácidos grasos saturados en aceite en función de los diferentes genotipos y de las agrupaciones de ambientes seleccionados en función de los resultados del Cap. III.	39
Tabla A8.2: Análisis de correlación entre ácidos saturados (%), ácido mirístico (%), ácido palmítico (%) y ácido esteárico (%) con las características fenotípicas y ambientales detalladas en la tabla.....	40
Tabla A8.3: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración de ácidos grasos saturados en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas.....	41
Tabla A8.4: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración de ácido mirístico en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas.....	42
Tabla A8.5: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración de ácido esteárico en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas.....	43
Tabla A8.6: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración de ácido palmítico en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas.	44
Tabla A8.7: Contribuciones de los factores G, E y GxE a la varianza total para la concentración de los ácidos grasos insaturados en aceite en función de los diferentes genotipos y de las agrupaciones de ambientes seleccionados en función de los resultados del Cap. III.	47
Tabla A8.8: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración de ácido oleico en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas.	48
Tabla A8. 9: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración de ácido linoleico en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas.	49
Tabla A8.10: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración de ácido linolénico en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas.	50
Tabla A8.11: Análisis de correlación entre ácidos oleico (%), ácido linolénico (%), índice de Iodo y estabilidad oxidativa (h) con las características fenotípicas y ambientales detalladas en la tabla.....	51

Tabla A8.12: Variación de la concentración de ácido oleico en función del rendimiento en aceite.	52
Tabla A9.1: Contribuciones de los factores G, E y GxE a la varianza total para la estabilidad oxidativa del aceite en función de los diferentes genotipos y de las agrupaciones de ambientes seleccionados en función de los resultados del Cap. III.	54
Tabla A9.2: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la estabilidad oxidativa del aceite en función de las diferentes etapas fenológicas.	55
Tabla A9.3: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la estabilidad oxidativa del aceite en función de las diferentes etapas fenológicas.	56
Tabla A10.1: Análisis de correlación entre aceite (%), proteínas (%), aceite por grano (mg.grano-1) y proteínas(%)/aceite(%) con las características fenotípicas y ambientales detalladas en la tabla.	61
Tabla A10.2: Análisis de componentes principales. Factores de carga vectorial correspondientes a los diferentes análisis de componentes principales realizados en función de la agrupación de ambientes.	62

Índice de Figuras

Figura 3.1: Relación entre rendimiento en aceite con el agua disponible total (x) durante el período EME-R9.	34
Figura 3.2: Relación entre rendimiento de aceite y evapotranspiración del cultivo (ETC (mm)).	35
Figura 3.3: Relación rendimiento en aceite y nitrógeno inicial disponible.	36
Figura 3.4: Relación entre el rendimiento en aceite y el nitrógeno inicial disponible para el cultivo.	38
Figura 3.5: Relación entre las características de rendimiento en aceite, número y peso de granos con las variables ambientales, en las etapas fenológicas, que demostraron mayor efecto sobre esas características.	49
Figura 4.1: Representación esquemática de las relaciones causa/efecto sobre el peso de la cáscara, para la etapa fenológica R5+250-450°Cd, de características fenotípicas y factores ambientales.	57
Figura 4.2: Representación esquemática de las relaciones causa/efecto sobre la aptitud al descascarado, para la etapa fenológica R5+250-450°Cd, de características fenotípicas y factores ambientales.	61
Figura 4.3: Partición dicotómica de los valores observados de aptitud al descascarado en función de Genotipos y datos observados de características fenotípicas y factores ambientales.	63
Figura 4.4: Respuesta de la aptitud al descascarado ante cambios en la relación %aceite/cáscara(mg.grano-1).	64
Figura 5.1: Representación esquemática de las relaciones causa/efecto sobre la concentración de ceras en aceite, para la etapa fenológica R5+250-450°Cd, de características fenotípicas y factores ambientales.	71
Figura 5.2: Partición dicotómica de los valores observados de concentración de ceras en aceite en función de Genotipos y datos observados de características fenotípicas y factores ambientales generado por el método de partición recurrente.	74

Figura 6. 1: Concentración de los diferentes fosfolípidos en aceite en función del cambio en la concentración de fosfolípidos totales en aceite.	79
Figura 6.2: Ubicación en el biplot de los Genotipos evaluados, representados como puntos y de los diferentes compuestos fosfolípidos, representados como vectores	80
Figura 6.3: Representación gráfica del análisis de comparación de medias de los cultivares para la concentración del compuesto PI en aceite, para cada grupo dentro de la agrupación por el criterio de zonas agroecológicas.	81
Figura 6.4: Representación esquemática de las relaciones causa/efecto sobre la concentración de fosfolípidos en aceite, para la etapa fenológica R5+250-450°Cd, de características fenotípicas y factores ambientales.....	83
Figura 6.5: Variación de la concentración de fosfolípidos totales en el aceite en función del nitrógeno inicial disponible en el suelo.	84
Figura 6.6: Partición dicotómica de los valores observados de concentración de fosfolípidos en aceite en función de Genotipos y de datos observados de características fenotípicas y de factores ambientales.....	85
Figura 6.7: Respuesta de la concentración de fosfolípidos totales en el aceite ante cambios en la temperatura mínima en la etapa fenológica R5.5+100°Cd.	86
Figura 7.1: Representación esquemática de las relaciones causa/efecto sobre la concentración de tocoferoles en aceite de características fenotípicas y factores ambientales para la etapa fenológica R5+250-450°Cd, de características fenotípicas y factores ambientales.	97
Figura 7.2: Cambios en la concentración de tocoferoles en aceite y en la cantidad de tocoferoles por grano en función de la cantidad de aceite por grano.....	98
Figura 7.3: Variación de la concentración de tocoferoles totales en aceite en función del contenido inicial de nitrógeno.....	101
Figura 7.4: Partición dicotómica de los valores observados de concentración de tocoferoles en aceite en función de Genotipos y datos observados de características fenotípicas y factores ambientales.....	102
Figura 8.1: Variación de la concentración de ácido mirístico en función del rendimiento medio en aceite.	114
Figura 8.2: Representación esquemática de las relaciones causa/efecto sobre la concentración de ácidos grasos saturados en aceite, para la etapa fenológica R5+100-300°Cd, de características fenotípicas y factores ambientales.	115
Figura 8.3: Relación entre el porcentaje de hojas verdes en R7, de la concentración en aceite de ácido palmítico y de la concentración ácido esteárico.	116
Figura 8.4: Partición dicotómica de los valores observados de concentración de ácidos grasos saturados en aceite en función de Genotipos y datos observados de características fenotípicas y factores ambientales.....	117
Figura 8.5: Variación en la concentración de ácido oleico en aceite en función de la relación proteínas (%)/aceite (%).	120
Figura 8.6: Variación del contenido de tocoferoles en aceite en función de la concentración de ácido oleico.	121
Figura 8.7: Variación de la concentración de ácido oleico en función del rendimiento en aceite..	122
Figura 8.8: Representación esquemática de las relaciones causa/efecto sobre la concentración de ácido oleico en aceite, para la etapa fenológica R5+250-450°Cd, de características fenotípicas y factores ambientales.....	123

Figura 8.9: Partición dicotómica de los valores observados de concentración de ácido oleico en aceite en función de Genotipos y datos observados de características fenotípicas y factores ambientales.....	124
Figura 8.10: Variación de la concentración de ácido oleico en función de la temperatura mínima media en la etapa fenológica R5+100-300°Cd.	125
Figura 8.11: Representación gráfica del análisis de clasificación de localidades en función de temperatura mínima (T°C min) y agua útil en la etapa fenológica R5+250-450°Cd.	126
Figura 9.1: Análisis de distribución de los valores observados de estabilidad oxidativa del aceite.....	131
Figura 9.2: Representación esquemática de las relaciones causa/efecto para la estabilidad oxidativa del aceite, para la etapa fenológica R5+250-450°Cd, de características fenotípicas y factores ambientales.....	134
Figura 9.3: Partición dicotómica de los valores observados de concentración de la estabilidad oxidativa del aceite en función de Genotipos y datos observados de características fenotípicas y factores ambientales.....	135
Figura 10.1: Relación, para las zonas Oeste y Sur, entre las características de calidad estudiadas, con características fenotípicas y factores ambientales.....	148
Figura 10.2: Relación, para la zona NEA y Quemu Quemú, entre las características de calidad estudiadas, con características fenotípicas y factores ambientales.	149
Figura 10. 3: Representación esquemática de la Visión global abordada en esta tesis.	151
Figura 10.4: Representación esquemática de las relaciones entre rendimiento y sus componentes, composición centesimal del grano, peso de cáscara por grano, aptitud al descascarado y concentración de ceras en aceite.	152
Figura 10.5: Representación esquemática de las relaciones entre rendimiento y sus componentes, composición centesimal del grano y composición ácida, contenidos de tocoferoles, fosfolípidos y estabilidad oxidativa del aceite de girasol.....	153
Figura 10.6: Representación esquemática de las relaciones causa/efecto de los componentes de la calidad relacionados a la cáscara del fruto de girasol en función de características fenotípicas y factores ambientales.....	155
Figura 10.7: Representación esquemática de las relaciones causa/efecto de los componentes de la calidad relacionados al aceite de girasol en función de características fenotípicas y factores ambientales.....	156

Índice de Figuras Anexo I

Figura A 3.1: Representación gráfica del análisis de clasificación de localidades por el índice de productividad media.....	4
Figura A 3.2: Relación entre agua disponible total durante el período EME-R9 con rendimiento en aceite.	5
Figura A 3.3: Representación gráfica del análisis de clúster de localidades en función del agua útil total disponible.....	6
Figura A 3.4: Representación gráfica del análisis de clasificación de localidades en función del contenido inicial de nitrógeno y rendimiento en aceite.	7

Figura A 3.5: Representación gráfica del análisis de clasificación de localidades en función del contenido inicial de nitrógeno, agua útil total y rendimiento en aceite.	8
Figura A 3.6: Representación gráfica del análisis de comparación de medias de los cultivos para rendimiento en aceite, para cada grupo dentro de la agrupación por el criterio de productividad media.	9
Figura A 3.7: Representación gráfica del análisis de comparación de medias de los cultivos para rendimiento en aceite, para cada grupo dentro de la agrupación por el criterio de zonas agroecológicas.	10
Figura A 3.8: Representación gráfica del análisis de comparación de medias de los cultivos para rendimiento en aceite, para cada grupo dentro de la agrupación por el criterio de nitrógeno inicial disponible.	10
Figura A 3.9: Diagrama del análisis de correlaciones simples y parciales describiendo las relaciones entre peso de granos y porcentaje de aceite con características ambientales para las etapas R1-R5 y R5+250-450°Cd.	15
Figura A5.1: Partición dicotómica de los valores observados del contenido de ceras en granos en función de genotipos y datos observados de características fenotípicas y factores ambientales por el método de partición recurrente.	25
Figura A7.1: Cambios en la concentración de tocoferoles en aceite y en la cantidad de tocoferoles por akenio en función de la cantidad de aceite por akenio.	37
Figura A8.1: Partición dicotómica de los valores observados de concentración de ácido esteárico en aceite en función de genotipos y datos observados de características fenotípicas y factores ambientales por el método de partición recurrente.	45
Figura A8.2: Partición dicotómica de los valores observados de concentración de ácido palmítico en aceite en función de genotipos y datos observados de características fenotípicas y factores ambientales.	46
Figura A8.3: Variación en la concentración de ácidos saturados en aceite en función del agua útil disponible en el período R5+250-450°Cd.	46
Figura A8.4 Comparación de la respuesta de la concentración en aceite del ácido oleico a la temperatura para los momentos R5+100-300°Cd y R5+250-450°Cd.	52
Figura A8.5: Comparación de modelos lineales de la respuesta de la concentración en aceite del ácido oleico a la temperatura mínima en el período R5+100-300°Cd, entre los valores observados en esta tesis y la fase lineal del modelo presentado por Izquierdo et al (2006).	53
Figura A9.1: Variación de la estabilidad oxidativa (h) en función de la temperatura mínima en la etapa R5+300°Cd.	57
Figura A9.2: Partición dicotómica de los valores observados de estabilidad oxidativa del aceite en función de genotipos y datos observados de características fenotípicas y factores ambientales por el método de partición recurrente. Análisis con inclusión forzada de la concentración de tocoferoles.	57
Figura A10.1: Representación gráfica del análisis de clasificación de localidades en función de las 11 características ambientales y de las 6 características fenotípicas seleccionadas.	58
Figura A10.2: Representación gráfica del análisis de clasificación de Genotipos en función de las 6 características fenotípicas seleccionadas y de las características de calidad estudiadas.	58

Figura A10.3: Relación entre las características fenotípicas seleccionas con las características de calidad estudiadas.	59
Figura A10.4: Relación entre las características ambientales seleccionas por etapa ontogénica.	60
Figura A10.5: Relación entre las características de calidad estudiadas con características fenotípicas y factores ambientales seleccionados.	63

Declaración

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original, y producto de mi propio trabajo y que este material no ha sido presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.

Alberto M. Peper

Glosario de abreviaturas y significados

AMMI: Modelo de efectos principales aditivos y de interacción multiplicativa

AICc: Criterio de Aikake.

AP: L- α – fosfatidato sódico

AUD: agua útil disponible (mm)

BM: Banco Mundial

CH: Carbohidratos

CQ: Coeficiente fototermal ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{día}^{-1}.\text{°C}^{-1}$).

CV: Coeficiente de variación.

Count: Número de observaciones

D.E.: Desvío estándar

DPS: déficit de presión de vapor

E: Ambiente

ETC: evapotranspiración del cultivo (mm)

ETC Acum (mm): evapotranspiración acumulada del cultivo en la fase ontogénica indicada

EME–R1: Etapa fenológica de emergencia a inicio de floración

EME–R9: Etapa fenológica de emergencia a madurez fisiológica

EUA: Eficiencia del uso del agua ($\text{kg.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$)

EUA–PP: Eficiencia del uso del agua en función del agua total disponible (agua disponible inicial más precipitaciones)

EUN: Eficiencia en el uso del nitrógeno ($\text{kg.kg}^{-1}.\text{N}^{-1}$)

G: Genotipo

G×E: Interacción Genotipo por Ambiente

CM: cuadrados medios

HR: Humedad Relativa (%)

IPCA_n: n_ésimo eje del componente principal de la interacción.

IAF: índice de área foliar

kPa: kilos Pascales

Logworth = $-\log_{10}$ (p-value).

MJ: Mega Jules

Mean: Valor medio.

MO %: Porcentaje de materia orgánica en el suelo

NG: Número de akenios por unidad de superficie

NGP: Número final de akenios por planta

NEA: Nordeste Argentino

NOA: Noroeste Argentino

NO₃: Contenido de nitrógeno como nitrato en el suelo

OCDE: Organización para la cooperación y el desarrollo económico

%AU: porcentaje de agua útil

p: Probabilidad de error

PAR: Radiación fotosintéticamente activa ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$)

PCA: Análisis de componentes principales

PE: L- α – fosfatidiletanolamina,

AP: L- α – fosfatidato sódico

PI: L- α – fosfatidilinositol,

PC: L- α — fosfatidilcolina

PL: Fosfolípidos

PVS: Presión de vapor de saturación (kPa)

pH: Acidez de suelo

PG: Peso de 1000 granos, en gramos

pl/m²: Plantas por m²

R1-R5.5: Etapa fenológica de inicio de floración a plena floración

R5.5+100: Etapa fenológica de plena floración +100°Cd

R5.5+200: Etapa fenológica de plena floración +200°Cd

R5.5+100-200: Etapa fenológica entre 100 a 200°Cd desde plena floración

R5.5+300: Etapa fenológica de plena floración +300°Cd

R5.5-15+20: Etapa fenológica entre 15 días antes de plena floración y 20 días posteriores

R5.5+100-300: Etapa fenológica entre 100 a 300°Cd desde plena floración

R5.5+250-450: Etapa fenológica entre 250 a 450°Cd desde plena floración

R9: Fase fenológica de madurez fisiológica

REML: Maxima verosimilitud restringida (Restricted or Residual Maximum Likelihood)

RMSE: Cuadrado medio del error.

SC: suma de cuadrados

Std Dev: Desvío estándar

SUM: Valores acumulados de variables climáticas en un período dado de cultivo

T°Cmed: Temperatura media, en grados Centígrados

T°Cmin: Temperatura mínima, en grados Centígrados

T°Cmax: Temperatura máxima, en grados Centígrados

V6: 6° hoja desplegada

VIF: Factor de inflación de la varianza

Resumen

Título: Calidad de aquenios y aceite de girasol: Efectos del Genotipo, del Ambiente y su interacción, y su relación con el rendimiento del cultivo y sus componentes.

El objetivo de esta tesis fue estudiar los efectos del Genotipo, el Ambiente y su interacción sobre peso de cáscara y aptitud al descascarado de los granos; y la composición ácida, contenido de ceras, tocoferoles y fosfolípidos y estabilidad oxidativa del aceite de girasol; así como de las relaciones intrínsecas entre dichas variables con rendimiento en aceite y peso de aquenios, identificando etapas fenológicas de máxima respuesta de estas características de calidad al efecto combinado de factores ambientales, dentro de los cuales se incluyeron a la productividad media y a características de suelo y climáticas, registrados para cada una de las etapas fenológicas de cada cultivar en cada localidad. Se utilizó un diseño de bloques al azar con 5 cultivares sembrados en 11 localidades de Argentina, distribuidas en las áreas NEA, OESTE y SUR. Se aplicaron técnicas de ANAVA factorial, regresión múltiple, análisis de sendero y esquemas de causa-efecto para estimar la importancia relativa de las fuentes de variación e identificar los factores ambientales de mayor efecto sobre estas características. Se utilizó análisis de conglomerados y componentes principales para el estudio de interrelaciones entre las características de calidad y factores ambientales. Aunque se observó variabilidad entre Genotipos, el efecto del Ambiente sobre la variabilidad total fue superior a la contribución del componente genético para todos los atributos examinados, con la excepción de porcentaje de cáscara y concentración de ceras. No se observó relación entre el rendimiento y las características estudiadas. Los factores ambientales de mayor efecto sobre las características de calidad fueron temperatura mínima, PAR, agua útil, precipitaciones, humedad relativa y nitrógeno, dependiendo el efecto individual, de cada factor, de su interrelación y de la etapa fenológica que se considere. Las condiciones ambientales durante las etapas R1-R5.5 y R5.5+300°Cd lograron explicar gran parte de la variabilidad total.

Palabras Claves: Cáscara, aptitud al descascarado, ceras, fosfolípidos, tocoferoles, ácidos grasos, estabilidad oxidativa

Abstract

Title: Grain and oil sunflower quality: Effects of genotypes, environments and their interactions, and their relationship with crop yield and its components.

The objective of this thesis was to study effects of genotype, environment and their interactions on hull weight and dehulling aptitude of the grains, fatty acid composition, concentration in oil of wax, tocopherol and phospholipid and oxidative stability of sunflower oil, as well as the intrinsic relationship between those parameters with oil yield, weight and number of grain; identifying phenological stages of maximum response of these quality characteristics to the combined effects of environmental factors. A random complete block design was used, with 5 cultivars; they were planted in 11 different locations of Argentina, distributed across the NEA, West and South agroecological regions. Environmental characteristics, as average yield, soil and climate characteristics, were recorded for each location during each phenological phase of all cultivars. Factorial variance analysis, multiple regression, path analysis and cause-effect schemes were used in order to estimate the relative weighting of the different sources of variation and to identify the main environmental factors with effects on these characteristics. Cluster analysis and principal components were used to study the interrelationship between environmental factors and quality characteristics. Although variability was observed among genotypes, the effects of environment on the total variability for all attributes were greater than those of genotype, with the exception of percentage of hull and wax concentration in oil. Relationships between oil yield and these quality characteristics were not found. The environmental factors that have exhibited the greatest effects were minimum temperature, photosynthetically active incident radiation, available water, precipitation, relative humidity and nitrogen. The effect of these environmental factors on these quality characteristics depends on their relationships with the other factors and on the phenological phases considered. The phases of R1-R5.5 and R5.5+300°Cd explained the greater part of the total variability.

Key words: Seed hull weight, hullability, wax, phospholipids, tocopherol fatty acid, oxidative stability

Capítulo 1:

INTRODUCCIÓN GENERAL, OBJETIVOS E HIPÓTESIS.

A. Introducción general

Distintas estimaciones de los organismos internacionales (por ejemplo USDA, OCDE, BM, etc.) prevén que en los próximos años continuará un fuerte dinamismo en la demanda de aquenios y semillas de oleaginosos. Esto sería generado por un crecimiento continuo de la economía y por nuevos usos de muchos productos, como por ejemplo para la obtención de biocombustibles y para el remplazo de productos de la petroquímica (López, 2007; López, 2013; Oliverio y López, 2007).

Esta situación de mercado genera demanda de aceite y de subproductos de la molienda con características diferenciadas, incidiendo fuertemente en el valor final de los productos y en su aceptación. Por ello, al momento de planificar el cultivo a producir, y a fin de optimizar el uso de los recursos disponibles, se debería considerar no sólo la obtención del mayor rendimiento posible, sino también de las variables de calidad valoradas por el mercado actual, así como de aquellos que podrían serlo en un futuro ante cambios en la demanda.

Según la norma ISO 9000:2000, la calidad es considerada como una propiedad o conjunto de propiedades inherentes al producto, que le confieren su aptitud para satisfacer las necesidades y/o preferencias establecidas por el mercado (Vilar *et al.*, 2007). Las variables que definen la calidad de los aquenios y el aceite de girasol están asociados a características que determinan su rendimiento industrial (porcentaje de aceite, porcentaje de cáscara y facilidad para el descascarado del grano y concentración de ceras en el aceite) (Dedio, 1982; Nel, 2001); al valor nutritivo y a la aptitud culinaria e industrial del aceite (composición ácida, estabilidad oxidativa, concentración de tocoferoles) (Izquierdo *et al.*, 2002; Izquierdo *et al.*, 2007; Izquierdo *et al.*, 2006; Izquierdo *et al.*, 2009) y finalmente, a las características de los aquenios que determinarán la calidad de los subproductos (porcentaje de proteínas en grano y la digestibilidad del pellets/harina) (Aguirrezabal y Pereyra, 1998); propiedades de gran importancia en el valor total del producto (Aguirrezabal *et al.*, 2002; Beauguillaume *et al.*, 1992; Denis y Vear, 1994; Garcia Ruiz, 1994; Neto da Silva *et al.*, 2003).

El girasol es una especie, comparada con otros cultivos extensivos, sobre la que hay escasa investigación tanto agronómica como en disciplinas afines. Sin embargo este cultivo a sido considerado una “especie modelo” para el estudio de características calidad entre los cultivos oleaginosos, gran parte de la misma se realiza, debido a la importancia comercial de este cultivo, en Argentina. En los últimos años el cultivo se desplazó a regiones agroecológicamente muy contrastantes sobre las cuales no hay, al presente, generada una cantidad de información como existe para las zonas más centrales para la agricultura. En general, el vacío de información se extiende, por lo menos en parte, a otras zonas de producción en el mundo, de manera que un abordaje exitoso de la relaciones entre los factores ambientales, considerando diferentes etapas fenológicas, los Genotipos y la interacción G×E, permitiría optimizar el logro de calidades diferenciales en forma consistente, tanto en lo que respecta al girasol Argentino como al cultivado en otros agroecosistemas del mundo.

1. Contribución relativa de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E sobre el rendimiento y la calidad del fruto y del aceite de girasol

Tanto el rendimiento como las características de calidad del fruto y del aceite de girasol pueden ser influenciados por las características del Genotipo (G), del Ambiente (E) y por la interacción entre ambos (G×E) (Aguirrezábal y Pereyra, 1998; de la Vega y Hall, 2002b; de la Vega *et al.*, 2002; Di Leo *et al.*, 2004; Nolasco *et al.*, 2004). Para lograr producciones con calidades consistentes, factor decisivo al momento de realizar la promoción y comercialización de los productos, así como para la toma de decisiones de proyectos de investigación y desarrollo es necesario conocer las contribuciones relativas de cada uno de estos factores sobre la variabilidad de estas características.

El Ambiente puede ser definido como un factor o combinación de factores que pueden influenciar a la o las características de interés. Dentro del conjunto de factores ambientales que comúnmente pueden definir las características de Ambiente, la temperatura y el fotoperiodo son los factores principales que modulan los procesos de crecimiento y desarrollo (Aguirrezábal *et al.*, 2009; Aguirrezábal *et al.*, 2003; Aiken, 2005; de la Vega y Hall, 2002a; Rondanini *et al.*, 2006; Sadras *et al.*, 2002; Sadras y Hall, 1988; Zuil *et al.*, 2012). Por su parte, la radiación solar interceptada por las plantas y la disponibilidad de nutrientes minerales y agua pueden afectar el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Andrade *et al.*, 1996; Sadras *et al.*, 2002) así como la calidad de frutos y aceites (Aguirrezábal *et al.*, 2002; Aguirrezábal *et al.*, 2009; Aguirrezábal y Pereyra, 1998; Echarte *et al.*, 2012).

La interacción Genotipo por Ambiente (G×E) es considerada como la respuesta diferencial de los Genotipos ante cambios en el Ambiente, la cual puede ser cuantitativa, si el orden entre los Genotipos no cambia pero sí la magnitud de la diferencia, o cualitativa, cuando cambia el orden entre los Genotipos. Conocer el efecto de G×E en los análisis de resultados de ensayos ubicados en múltiples localidades facilita la correcta interpretación de los mismos cuando el efecto de la interacción G×E es superior al efecto del Genotipo. Una aproximación para interpretar la G×E es identificar el o los principales factores ambientales que pueden influir sobre la misma (Crossa, 1990).

El efecto del Genotipo (G), el Ambiente (E) y su interacción (G×E), sobre el porcentaje de aceite del grano (Aguirrezábal *et al.*, 2002; Aguirrezábal *et al.*, 2009; Aguirrezábal y Pereyra, 1998; de la Vega y Hall, 2002a; de la Vega y Hall, 2002b; Dosio *et al.*, 2000; Izquierdo *et al.*, 1998; Izquierdo *et al.*, 2000; Merrien, 1998), la composición acídica del aceite (Aguirrezábal *et al.*, 2003; Canvin, 1965; de la Vega y Hall, 2002a; de la Vega y Hall, 2002b; de la Vega *et al.*, 2002; Dosio *et al.*, 2000; Echarte *et al.*, 2012; Echarte *et al.*, 2010b; Izquierdo y Aguirrezábal, 2008; Izquierdo *et al.*, 2002; Kandil *et al.*, 1990; Nagao y Yamazaki, 1983; Robertson y Green, 1981; Roche *et al.*, 2006; Santalla *et al.*, 1995; Sobrino *et al.*, 2003; Steer y Seiler, 1990; Unger y Thomson, 1982) y sobre el porcentaje de proteínas del grano (Kandil *et al.*, 1990; Merrien *et al.*, 1988; Steer *et al.*, 1986) son conocidos. Sin embargo, aún para estos parámetros de calidad (los más investigados en girasol) hay divergencias al analizar el aporte a la variabilidad total de cada uno de los factores.

Respecto al porcentaje de aceite del grano, algunos autores observaron que el Genotipo y el Ambiente presentan un efecto semejante en magnitud, y que si bien se

reporta G×E estadísticamente significativa, esta explicaría sólo bajos porcentaje de la variabilidad total del aceite del grano. (Aguirrezábal y Pereyra, 1998; Merrien, 1998; Quiroz *et al.*, 2000). En cambio, de la Vega y Hall (2002a) informaron que el Ambiente y su interacción con el Genotipo afectaron el porcentaje de aceite de los aquenios con mayor magnitud que el efecto individual del Genotipo.

Por otra parte, para el porcentaje de proteínas del grano, Kandil *et al.* (1990) no encontraron diferencias significativas entre híbridos, pero reportaron una clara interacción G×E. Estos autores no analizaron las posibles causas de esta interacción, la cual, además podría ser la razón por la cual no detectaron diferencias entre los Genotipos.

Al analizar la aptitud al descascarado en general hay coincidencias en que el factor genético (Dedio, 1982; Di Leo *et al.*, 2004; Garcia Ruiz, 1994; Merrien *et al.*, 1992; Nel, 2001; Nel *et al.*, 2000a), expresado en características anatómicas del fruto, tales como porcentaje de cáscara, aceite, ceras y tamaño del mismo (Beauguillaume y Cadeac, 1992; Beauguillaume *et al.*, 1992; Denis *et al.*, 1994; Denis y Vear, 1994; Garcia Ruiz, 1994; Merrien *et al.*, 1992; Nel *et al.*, 2000a), es el de mayor efecto sobre la variabilidad total. Por su parte, el aporte de la interacción G×E sobre la variabilidad total de la aptitud al descascarado y del porcentaje de cáscara sería menor al del Genotipo (Denis *et al.*, 1994; Di Leo *et al.*, 2004; Nel, 2001).

Al estar la facilidad de descascarado relacionada a la morfología del fruto y a sus características bioquímicas (Hernandez y Belles, 2007); los cambios en la estructura de la cáscara por efecto del Ambiente se relacionarían con cambios en la facilidad al descascarado (Di Leo *et al.*, 2004; Rondanini *et al.*, 2006), por lo cual el efecto del Ambiente podría ser superior al estimado por la literatura consultada.

El contenido de ceras en el aceite puede variar en función del Genotipo (Morrison, 1983; Roath *et al.*, 1985), de las condiciones de Ambiente, tales como la temperatura (Morrison *et al.*, 1984), la disponibilidad de agua (Franchini *et al.*, 2010; Morrison *et al.*, 1984) o por el manejo agronómico (Franchini *et al.*, 2010; Morrison, 1983; Morrison *et al.*, 1984). No se encontraron referencias sobre la importancia relativa de cada uno de estos factores ni sobre la presencia o no de interacción G×E para el contenido de ceras en el aceite.

La variabilidad en la concentración de tocoferoles en el aceite encontrada en diferentes ensayos fue atribuida principalmente al efecto del Genotipo (Alpaslan y Gündüz, 2000; Ayerdi Gotor *et al.*, 2006; Del Moral *et al.*, 2011; Dolde *et al.*, 1999; Nolasco *et al.*, 2004; Velasco y Fernández-Martínez, 2012), con interacción Genotipo por Ambiente significativa (Anastasi *et al.*, 2010; Dolde *et al.*, 1999; Velasco y Fernández-Martínez, 2012; Velasco *et al.*, 2002). No obstante algunos autores no detectaron interacción G×E significativa (Ayerdi Gotor *et al.*, 2006; Izquierdo *et al.*, 2007; Nolasco *et al.*, 2004).

Existen algunos estudios acerca del efecto relativo del Genotipo y del Ambiente sobre la concentración de tocoferoles en el aceite de otros cultivos. Por ejemplo, en canola se reportó que el efecto del Ambiente fue superior al del Genotipo, con una fuerte interacción G×E (Marwede *et al.*, 2004). En algodón no se encontraron diferencias entre Genotipos; el efecto del Ambiente fue diferente para las distintas fracciones evaluadas, α y δ - tocoferol presentaron diferencias entre años y β y γ tocoferol entre localidades. Las interacciones G×E no fueron significativas (Smith y

Creelman, 2001). Si bien se han realizado estudios para identificar la contribución relativa del Genotipo, del Ambiente y de su interacción sobre la concentración de tocoferoles en aceite, en general, pocos trabajos consideran el efecto de la variación conjunta de factores ambientales sobre esta característica.

La contribución relativa del Genotipo, en los cultivares tradicionales, a la variabilidad total de la composición ácida es menor a la del Ambiente. Los cultivares producto de la selección dirigida a obtener calidades específicas de aceite, tales como los cultivares con alta concentración de ácido oleico, presentan menor variabilidad ante cambios en las condiciones de Ambiente respecto a los tradicionales (Izquierdo *et al.*, 2006). El efecto de la interacción G×E para los diferentes componentes del aceite de girasol no es claro. Izquierdo y Aguirrezábal (2008), trabajando en condiciones controladas, encontraron respuestas diferenciales a la temperatura entre híbridos para la concentración de ácido oleico en el aceite. Estas respuestas diferenciales se observaron tanto en los valores mínimos como en la tasa de respuesta a cambios en la temperatura; no obstante indicaron que una única función de respuesta puede servir para varios híbridos. Kandil *et al.* (1990) encontraron una fuerte interacción G×E para la relación oleico / linoleico, siendo no significativa para el porcentaje de ácidos grasos saturados.

Para este cultivo no se encontraron referencias bibliográficas, posteriores a 1990, en cuanto a la presencia o no de G×E para el contenido de ácidos grasos saturados en aceite. En soja algunos autores reportan haber encontrado G×E significativa, (Hou *et al.*, 2006; Primomo *et al.*, 2002; Rebetzke *et al.*, 1996) en cambio otros, si bien encuentran diferencias entre cultivares, reportan que la interacción G×E no fue significativa (Maestri *et al.*, 1998).

Un aspecto poco considerado en investigaciones anteriores ha sido las relaciones de características de calidad entre sí, su variación conjunta y el efecto del Ambiente, así como las interrelaciones de factores ambientales sobre estas relaciones. Al realizar el análisis de las variables de calidad y sus interrelaciones hay que tener en cuenta la capacidad de cada Genotipo de expresarlas en los distintos Ambientes en que el mismo puede ser cultivado. Además, debe considerarse que las variaciones en un atributo de calidad determinado pueden estar en relación con las variaciones de otros, debiendo analizarse estas en forma conjunta.

En algunos casos estas relaciones han sido estudiadas y es predecible su variación conjunta. Por ejemplo, las relaciones entre porcentajes de ácidos grasos, oleico y linoleico, en el aceite. Otras han sido poco investigadas, como por ejemplo las relaciones entre composición ácida y concentración de tocoferoles totales en aceite, variables que en conjunto determinarían la estabilidad oxidativa del aceite (Dolde *et al.*, 1999; Mascioli, 2001; Nagao y Yamazaki, 1983; Nolasco *et al.*, 2004), así como la relación entre el porcentaje de proteínas y el de aceite en grano para un mismo Genotipo, a pesar de la importancia que presenta esta relación desde el punto de vista industrial (Aguirrezábal y Pereyra, 1998).

Finalmente algunas variables de calidad podrían ser predichas a partir de otras. Por ejemplo la estabilidad oxidativa del aceite dependería de la composición ácida (Eller *et al.*, 2005), del contenido de tocoferoles (Demurin *et al.*, 1996; Dolde *et al.*, 1999; Nolasco *et al.*, 2004) y de Fosfolípidos (Cabrini *et al.*, 2001). Sin embargo, la dependencia de la estabilidad oxidativa con estos factores en aceites obtenidos en condiciones naturales no ha sido demostrada ya que la mayor parte de los experimentos se han realizado en condiciones de laboratorio, en general, adicionando algunos de estos

componentes para investigar su efecto sobre la estabilidad (Carelli *et al.*, 2005). Para la concentración de fosfolípidos y la estabilidad oxidativa del aceite, no existen estudios en condiciones de campo y no se conocen los cambios que se producen en ellas al variar otros componentes de calidad por efecto del Ambiente.

La información actual sobre los efectos del Genotipo, del Ambiente y de su interacción sobre las variables que definen la calidad del grano y del aceite de girasol es fragmentaria. El estudio de estas cuestiones constituiría un aporte novedoso al conocimiento existente, con posibles implicancias para la toma de decisiones en investigación (por ejemplo, la evaluación de opciones para la mejora genética), o para el manejo agronómico del cultivo.

2. Determinación del momento ontogénico de mayor impacto de las características ambientales sobre las características de calidad de granos y aceite de girasol.

El período crítico es definido como la etapa fenológica en la cual los factores del Ambiente actúan sobre las características de calidad en una magnitud superior a la observada considerando su efecto en el período completo de cultivo (EME-R9) (Aguirrezábal *et al.*, 2015). Su determinación ayuda no solamente a la comprensión de los mecanismos y procesos involucrados en la determinación de las características de calidad, sino que además asiste a la toma de decisiones para el manejo agronómico del cultivo y es información básica necesaria para la generación de modelos predictivos. Este período puede ser determinado por el efecto individual de cada factor ambiental o en función del efecto conjunto de las características ambientales, por ejemplo para el ácido oleico se determinó un período crítico para el efecto de la temperatura (Izquierdo *et al.*, 2007) y otro para el efecto del PAR interceptado (Echarte *et al.*, 2013).

En algunos casos el período crítico y los factores que influyen sobre el mismo fueron definidos, por ejemplo la deposición de aceite en el fruto de girasol que comienza cuando el desarrollo del embrión emprende su etapa de rápido desarrollo, fase lag (Connor y Hall, 1997), aproximadamente a los 14 días desde floración (Rondanini *et al.*, 2003); demostrando una máxima respuesta a la radiación interceptada en el período 250-450°Cd desde floración (Aguirrezábal *et al.*, 2003). En otros casos no se conoce el momento crítico, pero se conoce el momento en el cual se promueve un determinado compuesto, por ejemplo la deposición de ceras en la cáscara se produce durante todo el desarrollo del grano (Morrison *et al.*, 1984), pero mayormente en las etapas tempranas (Franchini y Hernandez, 2006). La información disponible para las otras características de calidad estudiadas en esta tesis es variable.

El momento de desarrollo del cultivo en el cual se determina la concentración de fosfolípidos no está claramente definido. Por un lado reportaron que la deposición de fosfolípidos se produjo durante todo el período de llenado de achenios, alcanzando el máximo valor en madurez fisiológica (Robertson *et al.* 1978, Salas *et al.*, 2006). Por otro lado Zlatanov *et al.* (2009) observaron, trabajando con híbridos alto oleico, que la concentración de fosfolípidos fue determinada, aproximadamente, en los primeros 15 días del período de llenado de achenios.

En general hay coincidencia en que la síntesis de tocoferoles se produce al mismo momento que la síntesis de aceite, tanto para girasol (Ayerdi Gotor *et al.*, 2006; Baydar y Erbas, 2005; Nolasco *et al.*, 2004), como en soja (Almonor *et al.*, 1998);

aunque resultaría de procesos independientes (Nolasco *et al.*, 2004). Si bien algunos autores refieren que los tocoferoles se generarían durante todo el período de llenado de los aquenios (Izquierdo *et al.*, 2007; Velasco y Fernández-Martínez, 2012), el momento de mayor deposición podría estar comprendido, aproximadamente, entre 10 a 35 días desde floración (Baydar y Erbas, 2005; Dong *et al.*, 2007; Zlatanov *et al.*, 2009); siendo este momento el de mayor susceptibilidad a cambios en las condiciones del Ambiente. Los trabajos realizados con anterioridad para determinar el período crítico de tocoferoles consideraron, en general, los factores ambientales en forma individual, trabajando en situaciones controladas, en cámaras o en experimentos de campo a través de la manipulación de cada factor. Las búsquedas bibliográficas efectuadas no han permitido identificar trabajos dirigidos a determinar las fases fenológicas de máxima respuesta de la concentración de tocoferoles en aceite a los efectos combinados de factores ambientales potencialmente importantes.

Los ácidos grasos saturados se depositan tempranamente, alcanzando su máxima concentración en R5.5+200°Cd (Baydar y Erbas, 2005). Rondanini *et al.* (2003) reportaron que el efecto de temperaturas superiores a los 35°C en etapas tempranas, entre los 12 a los 19 días desde antesis, si bien generaron cambios en el perfil ácido, este fue revertido al suspenderse el factor de estrés. En contraposición, en la etapa comprendida entre los 19 a los 26 días desde antesis, el efecto de temperaturas superiores a 35°C alteró en forma permanente el mismo. Esto se debió a que el proceso de llenado de granos se terminó anticipadamente y por ello no fue posible la existencia de recuperación post estrés, dado que no hubo tiempo post estrés. En cambio Izquierdo *et al.* (2002) encontraron que el período de máxima respuesta al efecto de temperaturas mínimas nocturnas, las cuales variaron en un rango de 16 a 26°C, fue en etapas más tempranas, sugiriendo un efecto de memoria al estrés. Esta aparente contradicción sugiere la necesidad de estudiar en mayor medida el efecto de la temperatura sobre la composición ácida del aceite.

Los ácidos grasos linoleico (C18-2) y linolénico (C18-3), comprendidos dentro de los ácidos grasos esenciales, son sintetizados en las plantas a partir del ácido oleico (C18-1), el cual alcanzaría su máxima concentración en el período R5.5+200-300°Cd, a partir de la desaturación del ácido esteárico (Izquierdo *et al.*, 2002; Martínez-Force *et al.*, 1998). El período crítico para la concentración de ácido oleico fue determinado, para el efecto de la temperatura, como el comprendido en el período 100-300°Cd a partir de floración (Aguirrezábal *et al.*, 2003; Izquierdo *et al.*, 2006) y para la radiación interceptada como el período comprendido entre 250-450°Cd (Echarte *et al.*, 2013); ambos factores presentaron efectos aditivos, sin interacción entre ellos y que responden a diferentes procesos metabólicos (Echarte *et al.*, 2010b).

No se encontraron, en la literatura consultada, trabajos tendientes a identificar los momentos de mayor efecto de las condiciones ambientales sobre la aptitud al descascarado ni sobre la estabilidad oxidativa del aceite.

Se observó, en los trabajos consultados, que mientras algunos autores determinaban experimentalmente el momento de mayor sensibilidad (Echarte *et al.*, 2013; Izquierdo *et al.*, 2007), otros dedujeron que sería el momento de mayor acumulación (Morrison, 1983; Zlatanov *et al.*, 2009), lo cual no necesariamente puede corresponderse con el período de mayor respuesta a cambios en las características del Ambiente. Si bien se han identificados trabajos que describen los momentos en los cuales se definen periodos críticos para diferentes características de calidad, según lo

visto en los párrafos anteriores, no se han identificado trabajos dirigidos a determinar las etapas fenológicas de máxima respuesta de las características de calidad de grano y aceite a los efectos combinados de factores ambientales potencialmente importantes.

3. Respuesta de las características de calidad a la variación del rendimiento en aceite, del peso y número de granos y de los factores ambientales en forma combinada

Si bien el Ambiente de un cultivo está conformado por numerosos factores, en general sólo unos pocos integran su Ambiente “operacional” (Spomer, 1973), muchas características de una planta pueden depender, principalmente, de un escaso número de factores ambientales. Así por ejemplo en el girasol, cambios en dos factores ambientales, temperatura y fotoperiodo, determinan la duración de las distintas fases del desarrollo (Aiken, 2005; de la Vega y Hall, 2002b), encontrándose respuesta diferencial entre cultivares (Hall, 2004).

Conocer para diferentes Genotipos las respuestas de las características de calidad a los principales factores ambientales que las determinan puede ser de interés para analizar sus variaciones a través de diferentes Ambientes (localidades, fechas de siembra, manejo, etc.). Por su carácter cuantitativo, esta aproximación de las respuestas de las plantas al Ambiente constituye una base para mejorar la actual capacidad predictiva de la calidad. Como se tratará a continuación, existen algunos conocimientos de estas respuestas para algunos de las variables que determinan la calidad de frutos y aceites.

De manera análoga que para los componentes del rendimiento, variaciones en las relaciones entre los factores ambientales por efecto del manejo (elección de la localidad, fecha de siembra, cultivar a sembrar, etc.) podrían incidir diferencialmente sobre la duración de las distintas fases del desarrollo de diversos Genotipos de girasol, enfrentando al cultivo a disímiles condiciones ambientales durante las etapas en que se determinan diferentes parámetros de calidad (Aguirrezabal *et al.*, 2002), afectando así, de manera “directa o indirecta” la calidad de achenios y aceite.

a) Relación con el rendimiento en aceite, peso y número de granos.

Las relaciones entre rendimiento, expresado como la producción de achenios y/o aceite por unidad de superficie, y variables de calidad han sido en general escasamente investigadas. Así por ejemplo, si bien son conocidas las correlaciones negativas entre niveles de proteínas y contenido de aceite en grano son pocos los trabajos que han estudiado las variaciones de esta relación (Aguirrezabal *et al.*, 2009; Aguirrezabal y Pereyra, 1998) y su interrelación con el rendimiento tal como ha sido estudiado en soja (Dornbos y Mullen, 1992) y trigo (Finlay, 2007; Reynolds *et al.*, 2004; Rharrabti *et al.*, 2003).

En general se considera que condiciones favorables para una alta producción de aceite de girasol originarían una menor concentración de ceras en aceite (Franchini *et al.*, 2010; Lajara *et al.*, 1990; Morrison, 1983; Morrison *et al.*, 1984), siendo necesario profundizar las investigaciones sobre las relaciones entre rendimiento y la concentración de ceras en aceite.

Resultados experimentales sugieren una relación negativa entre rendimiento y la concentración de tocoferoles en el aceite (Anastasi *et al.*, 2010; Kandil *et al.*, 1990; Nolasco *et al.*, 2004). Esta relación estaría más asociada a cambios en el peso de aceite de la semilla que a cambios en la cantidad total de tocoferoles en la misma. No todos los Genotipos responderían de la misma manera (Beringer y Dampert, 1976). Sin embargo, Velasco *et al.* (2002) no encontraron una relación significativa entre rendimiento y concentración de tocoferoles en aceite. La relación inversa entre rendimiento y tocoferoles fue encontrada, también, en festuca (Zhang y Schmidt, 2000), algodón (Ahmad *et al.*, 2007) y en avena (Peterson *et al.*, 2005).

En general se puede considerar que condiciones de Ambientes restrictivas para el rendimiento del cultivo afectarían la composición ácida del aceite; se incrementaría la participación relativa de ácidos palmítico y oleico a expensas de esteárico y linoleico (Anastasi *et al.*, 2010; Flagella *et al.*, 2004; Flagella *et al.*, 2002; Jalilian *et al.*, 2012; Sezen *et al.*, 2011).

No se ha detectado, para ningún cultivo extensivo, estudios sobre las relaciones entre rendimiento en achenios y/o aceite por unidad de superficie con variables de calidad tales como, porcentaje de cáscara y aptitud al descascarado de los achenios, concentración fosfolípidos en aceite y estabilidad oxidativa del aceite. Por otro lado, los conocimientos actuales, en el caso del girasol, no permiten ser concluyentes al analizar las relaciones entre rendimiento y calidad, ya que relaciones inversas entre número y peso de achenios podrían enmascarar el efecto de las condiciones ambientales durante el llenado.

b) Efecto de los factores ambientales

El efecto de los factores ambientales sobre las características de calidad, con la excepción de la composición ácida, es menos conocido que el efecto de los mismos sobre la concentración de aceite o sobre el rendimiento.

(1) Efecto del nitrógeno.

Los efectos del nitrógeno disponible en el suelo sobre la determinación del rendimiento en grano, del contenido de aceite del mismo (Connor y Sadras, 1992; Gutiérrez *et al.*, 2000a; Steer *et al.*, 1986) así como su relación con el índice de área foliar (IAF) y la producción de materia seca (Abbadi *et al.*, 2008; Gutiérrez *et al.*, 2000a; Hocking y Steer, 1989), fueron ampliamente estudiados, a diferencia de su efecto sobre las características de calidad de aceite y granos que fue escasamente estudiado.

Al afectar el nitrógeno el crecimiento y desarrollo del cultivo, cambios en su disponibilidad podrían generar alteraciones en la composición de las características de calidad del aceite, tal como lo reportan por ejemplo Bahl *et al.* (1997) y Zheljaskov *et al.* (2009). Sin embargo otros trabajos concluyen que los efectos del nitrógeno sobre la calidad del aceite no son claros (Skarpa y Losak, 2008; Steer y Seiler, 1990).

La fertilización de los cultivos con nitrógeno incrementaría la facilidad de descascarado (Browne *et al.*, 2003), al aumentar el peso de achenios (García Ruiz, 1994; Merrien *et al.*, 1992). Sin embargo, Nel (2001) no encontró efecto de la fertilización nitrogenada sobre esta característica, lo cual podría deberse a las bajas dosis aplicadas.

El efecto del nitrógeno sobre la concentración de tocoferoles en aceite fue escasamente estudiado. Se reportaron respuestas positivas a la fertilización nitrogenada en colza (Egesel *et al.*, 2008) y en olivos (Fernández-Escoba *et al.*, 2004), mientras que para el girasol no se encontraron referencias sobre el efecto de la disponibilidad de nitrógeno en la concentración de tocoferoles en aceite.

La composición ácida podría verse afectada por prácticas agronómicas que afecten la relación fuente destino (Echarte *et al.*, 2012), tales como fertilización nitrogenada y densidad de plantas (Abadi *et al.*, 2008; Olalde Gutierrez *et al.*, 2000), así como factores que produzcan defoliación, tales como enfermedades foliares. La aplicación de nitrógeno generó cambios en la composición ácida. A mayor aplicación de nitrógeno los niveles de ácido palmítico y linoleico se incrementaron y los de esteárico y oleico disminuyeron. Se reportan respuestas diferenciales entre Genotipos de acuerdo a la disponibilidad de nitrógeno (Ali *et al.*, 2012; Steer y Seiler, 1990; Zheljazkov *et al.*, 2009). Otros autores no encontraron evidencias que variaciones en la fertilización nitrogenada afecten el equilibrio en ácidos grasos (Merrien, 1998). Aplicaciones tardías de nitrógeno tenderían a incrementar la concentración de ácidos grasos saturados en el aceite (Zheljazkov *et al.*, 2009).

No se encontró, en la literatura consultada, referencias del efecto del nitrógeno disponible sobre la concentración de ceras y de fosfolípidos en aceite de girasol, ni sobre su estabilidad oxidativa.

(2) Temperatura

El efecto de la temperatura, durante las diferentes etapas fenológicas, sobre las características de calidad de aquenios y aceite ha sido uno de los más estudiados.

La exposición de la planta de girasol a altas temperaturas produjeron disminución en el peso de la cáscara, que no se vio reflejado en la relación cáscara/pepa (Rondanini *et al.*, 2006). Asimismo, temperaturas superiores a 30°C disminuyeron la aptitud al descascarado (García Ruiz, 1994; Rondanini *et al.*, 2006).

La temperatura produjo un efecto inverso sobre la concentración de ceras en el aceite de girasol, de mayor magnitud cuando estuvo asociado a estrés hídrico, aunque no se cuantificó la contribución relativa de cada factor (Morrison *et al.*, 1984).

Generalmente los trabajos consultados sostienen que aumentos en la temperatura se traducen en una menor concentración de tocoferoles en el aceite de girasol (Ayerdi Gotor *et al.*, 2006; Dolde *et al.*, 1999; Dong *et al.*, 2007; Izquierdo *et al.*, 2007; Velasco y Fernández-Martínez, 2012), sin interacción significativa con el Genotipo. Otros autores refieren que las variaciones en la concentración de tocoferoles en aceite no está relacionada con la temperatura (Beringer y Saxena, 1968; Nagao y Yamazaki, 1983). Estudios realizados en otras especies, muestran resultados divergentes, por ejemplo, para soja, por un lado Almonor *et al.* (1998) y Carrera *et al.* (2011) reportaron una relación directa entre temperatura y tocoferoles, mientras que Vlahakis y Hazebrook (2000) encontraron una relación inversa. En canola se reportó una relación inversa (Marwede *et al.*, 2004).

La temperatura es la característica ambiental de mayor impacto sobre la composición ácida (Anastasi *et al.*, 2000; Anastasi *et al.*, Canvin D.T., 1965; 2010; Izquierdo y Aguirrezábal, 2008; Izquierdo *et al.*, 2002; Izquierdo *et al.*, 2006; Lajara *et al.*, 1990; Onemli, 2012; Santalla *et al.*, 1995; Sobrino *et al.*, 2003; Steer y Seiler, 1990;

Unger y Thomson, 1982; Werteker *et al.*, 2011). Al incrementarse la temperatura el proceso de desaturación disminuye, afectando el pasaje de ácido esteárico a oleico y del ácido oleico a linoleico (Anastasi *et al.*, 2000; Izquierdo *et al.*, 2002; Izquierdo *et al.*, 2006; Merrien, 1998; Petcu *et al.*, 2010; Rondanini *et al.*, 2006; Rondanini *et al.*, 2003; Tremolieres *et al.*, 1982; Werteker *et al.*, 2011). Si bien el proceso de desaturación es menor, al incrementarse la temperatura, se encontró que a mayor temperatura la concentración de ácidos grasos saturados en aceite disminuyó (Martínez-Force *et al.*, 1998), con mayor variación del contenido de ácido esteárico respecto al palmítico (Izquierdo y Aguirrezábal, 2008; Izquierdo *et al.*, 2006). Otros autores no encontraron efecto de la temperatura o del Ambiente sobre el porcentaje de ácidos grasos saturados (Beringer y Dampert, 1976; Kandil *et al.*, 1990; Merrien, 1998).

El aumento en el contenido de ácido oleico por efecto de la temperatura se correlacionó con una disminución en el porcentaje de linoleico, encontrándose una estrecha relación inversa entre ambas fracciones (Izquierdo *et al.*, 2006; Onemli, 2012; Roche *et al.*, 2006). El límite superior de la concentración de ácido oleico en cultivares tradicionales sería del 60%, valor al cual se llegaría con registros de temperaturas medias aproximadamente de 27°C (Tremolieres *et al.*, 1982) o mínimas nocturnas de 22.6 °C (Izquierdo *et al.*, 2006). La respuesta a cambios en la temperatura de la concentración de ácido oleico podría ser diferente al considerar ensayos en condiciones controladas (ensayos en cámara), donde se encontraron respuestas diferentes entre cultivares tanto para el rango de temperaturas a partir del cual no habría cambios; como para la tasa de respuesta a la misma, o al considerar ensayos a campo, donde no se encontraron respuestas diferentes entre híbridos (Izquierdo *et al.*, 2002); remarcando la importancia de evaluar las respuestas en condiciones naturales de producción.

(3) Radiación

Si bien se han realizado estudios sobre el efecto de la radiación solar incidente (PAR) para algunas de las características que determinan la calidad de aceite y frutos de girasol, en general fue menos estudiado que el efecto de la temperatura sobre las mismas.

La cantidad de radiación interceptada por planta durante el llenado de los frutos incide sobre el peso de los achenios (Andrade y Ferreiro, 1996) y sobre el peso de aceite por grano (Aguirrezábal *et al.*, 2003; Ruiz y Maddonni, 2006). La respuesta de la concentración en aceite en grano no es tan clara, algunos trabajos muestran que cambios en la radiación interceptada generaron cambios en el porcentaje de aceite (Aguirrezábal *et al.*, 2003; Dosio *et al.*, 2000), en cambios otros demostraron que si bien el peso de aceite por grano respondió ante cambios en la radiación interceptada, la concentración de aceite no varió (Ruiz y Maddonni, 2006). Estas diferencias puede deberse a variabilidad genética (Izquierdo *et al.*, 2008; Izquierdo *et al.*, 2000).

La concentración de tocoferoles en aceite estuvo negativamente correlacionada con la radiación incidente en girasol (Nolasco *et al.*, 2004) y en soja, colza y maíz (Izquierdo *et al.*, 2007). Otros trabajos reportan que esta relación puede ser positiva, dependiendo del cultivar (Velasco y Fernández-Martínez, 2012). Estos resultados sugieren en conjunto que habría interacción G×E (Beringer y Dampert, 1976; Nolasco *et al.*, 2005).

La composición ácida depende de la disponibilidad de fotoasimilados (Echarte *et al.*, 2012; Izquierdo *et al.*, 2009). Se ha encontrado que a mayor radiación

interceptada, mayor es la concentración en aceite de ácidos grasos saturados y de ácido oleico, disminuyendo la concentración de linoleico (Echarte *et al.*, 2010a; Echarte *et al.*, 2012; Santalla *et al.*, 1995; Tremolieres *et al.*, 1982). La duración del fotoperiodo no afectó, en maní, los porcentajes de ácidos oleico, linoleico, ácidos grasos saturados, la relación oleico/linoleico el porcentaje de aceite, ni el peso de aquenios (Dwivedi *et al.*, 2000).

(4) Disponibilidad de agua

Las condiciones hídricas del suelo en el período de llenado de aquenios no presentaron una respuesta evidente sobre la aptitud al descascarado. Algunos autores refieren que condiciones de buen contenido de humedad en el suelo favorecen la facilidad de descascarado (Baldini *et al.*, 1994; Merrien *et al.*, 1992); en cambio otros reportan que un estrés hídrico en este período parece ser favorable para mejorar esta característica (Denis y Vear, 1994; Garcia Ruiz, 1994; Nel *et al.*, 2001). Se debe considerar que valores altos de humedad relativa pueden incrementar la incidencia de enfermedades, las cuales al afectar el llenado de granos incrementarían el porcentaje de cáscara (Zimmer y Zimmerman, 1972), influyendo, de este modo, sobre la aptitud al descascarado.

La ocurrencia de precipitaciones durante el período de llenado de aquenios está relacionada a un lavado de ceras, disminuyendo su concentración. Déficit moderado de agua generaron mayores contenidos de ceras en aceite (Franchini *et al.*, 2010; Morrison *et al.*, 1984). Morrison *et al.*, (1984) encontraron que la magnitud del efecto del estrés hídrico fue superior sobre la concentración de aceite que sobre el contenido de ceras, indicando que la interacción entre estos factores es compleja.

Anastasi *et al.* (2010), estudiando el efecto del agua disponible (lluvia más riego) durante el ciclo de cultivo sobre la concentración de tocoferoles en aceite, encontraron respuestas diferenciales en función de los híbridos evaluados, indicando interacción G×E. En algodón (Ahmad *et al.*, 2007), y en festuca (Zhang y Schmidt, 2000) se reportó que ante condiciones de deficiencias de agua el contenido de tocoferoles se incrementó.

Los efectos del agua disponible sobre la composición ácida fueron menos estudiados que los efectos de la temperatura o la radiación; se reportaron incrementos en la concentración en aceite de ácido oleico y esteárico al disminuir la disponibilidad de agua (Anastasi *et al.*, 2010; Flagella *et al.*, 2004; Jalilian *et al.*, 2012; Sezen *et al.*, 2011). La interrelación entre la temperatura con el agua disponible es crítica para la determinación de la composición ácida, al optimizarse esta relación la concentración de ácidos palmítico y oleico disminuyó y se incrementó la concentración de ácidos esteárico y linoleico (Anastasi *et al.*, 2010; Flagella *et al.*, 2002; Jalilian *et al.*, 2012; Roche *et al.*, 2006). No obstante lo anterior, la concentración relativa de ácidos saturados totales en aceite disminuyó (Anastasi *et al.*, 2010).

No se encontraron trabajos, en la literatura consultada, que estudien el efecto de la humedad del Ambiente sobre la composición ácida. Balalić *et al.* (2012), reportaron que la HR, una de las principales variables ambientales que explicaron la interacción entre fechas de siembra de girasol, estaba relacionada a la concentración de aceite en forma inversa.

Para las características de concentración de fosfolípidos en aceite y estabilidad oxidativa no se encontraron trabajos previos que aborden el efecto de los factores ambientales sobre estas características.

La mayoría de los trabajos citados en la literatura consultada fueron realizados en condiciones controladas, e involucraron la manipulación de los factores ambientales tomados de a uno; no encontrándose trabajos previos que combinen información proveniente de una red de ensayos que cubran un rango importante de localidades con registros robustos de información climática y fenológica.

4. Establecimiento de un modelo conceptual

En función de la información brindada por la literatura consultada se construyó un modelo conceptual (Figura 1) que representa las relaciones entre las características de calidad, incluidas en este trabajo, con el rendimiento y sus componentes y con la composición de los aquenios, así como las relaciones entre ellas; resaltando el efecto de los principales factores ambientales y las etapas fenológicas identificadas como periodos críticos.

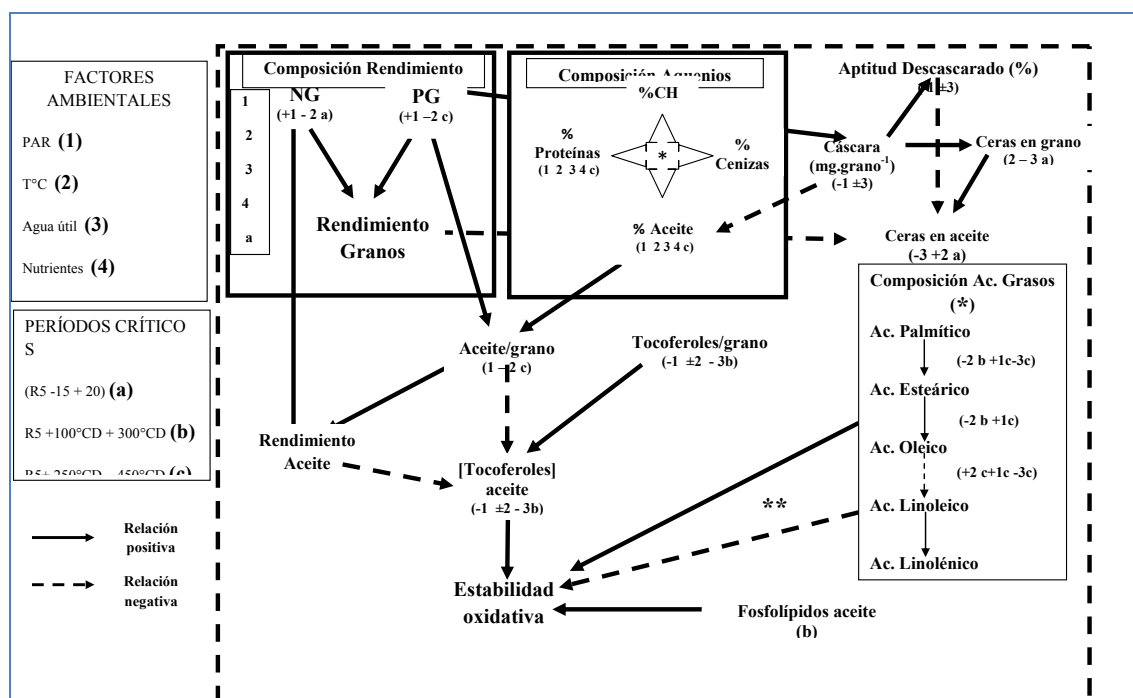


Figura 1.1: Representación esquemática de las relaciones entre los principales componentes de la calidad y el rendimiento de girasol basadas en los antecedentes encontrados en la revisión bibliográfica. Se considera que Genotipo, Ambiente (Zona agroecológica – localidad) y su interacción son determinantes mayores en estas relaciones por lo que su efecto no es explicitado. Los indicadores muestran los principales factores ambientales, (números) y el periodo crítico (letra) en que alguno de los componentes manifiesta mayor sensibilidad. Los indicadores dentro de un recuadro hacen referencia al conjunto de componentes que se encuentran dentro de la caja que los contiene. Al lado de cada indicador numérico, el signo positivo (+) significa efecto directo y el negativo (-) efecto inverso del factor ambiental sobre el parámetro. (*) La suma de los componentes es igual a 100%, por lo cual variaciones en uno de los componentes implica variaciones en los otros. (**) El efecto sobre la estabilidad oxidativa dependerá de la composición ácida, a mayor nivel de saturación mayor estabilidad oxidativa. %CH: Porcentaje de carbohidratos.

El peso de granos, el porcentaje de aceite y el peso de cáscara fueron las características fenotípicas de mayor relación con las variables de calidad estudiadas. Las etapas identificadas como críticas fueron R5-15+20ddf, R5+100-300°Cd y R5+250-450°Cd. Los factores ambientales mayormente citados fueron PAR, temperatura y en menor medida el agua disponible. Las relaciones entre los componentes del modelo

conceptual fueron analizadas en los párrafos anteriores o lo serán en los capítulos correspondientes a cada tema.

5. Análisis conjunto de las características fenotípicas y ambientales

La mayor parte de estudios anteriores evaluaron principalmente las variaciones de uno y/o un escaso número de parámetros de calidad, sin considerar que en muchos de los casos variaciones en las características de calidad se corresponden con variaciones correlativas de otros parámetros, ya sea por la forma de expresión de los resultados (por ejemplo la composición relativa de ácidos grasos) u originadas por la respuesta a un factor ambiental (por ejemplo los efectos de temperatura sobre concentración de tocoferoles en aceite vía cambios en el peso de aceite por fruto (Izquierdo *et al.*, 2009).

Este estudio propone documentar e identificar posibles causas de las variaciones por efecto del G, E y de $G \times E$ de varios parámetros que definen la calidad de frutos y aceites, su relación con el rendimiento en aceite y sus componentes. No se han detectado en la bibliografía, tanto para girasol como para otras especies en cultivos extensivos, un análisis de las variables de calidad que permita determinar los factores y relaciones involucradas en las distintas respuestas observadas, buscando las causas fundamentales de las variaciones impuestas por G, E y $G \times E$. Este estudio puede llevarse a cabo a partir de una base de datos generada a través de una amplia gama de Ambientes (a través de toda la zona girasolera Argentina), la cual incluye tanto información de rendimiento en aceite, peso y número de granos, como parámetros de calidad de frutos y aceites, acompañados de información de suelo, clima y fenología del cultivo; y analizando dicha información en forma combinada con técnicas estadísticas de última generación, tales como máxima verosimilitud restringida (REML), análisis de componentes principales (PCA), correlaciones parciales; técnicas que permiten un análisis profundo de los factores y relaciones involucradas en las distintas respuestas, buscando las causas fundamentales de las variaciones impuestas por G, E y $G \times E$.

Específicamente, un mayor conocimiento de las citadas interrelaciones ayudaría a obtener calidades específicas, adaptadas a requerimientos de la industria (Aguirrezábal y Pereyra, 1998) a través de la elección de cultivares, prácticas de manejo, ambientes y/o zonas. Además se podría lograr avances importantes en el conocimiento de los factores que determinan la calidad y sus interrelaciones en cultivos oleaginosos y de manera general, en especies de cultivos extensivos. Por otra parte, esto permitiría el posible ajuste del manejo y/o la identificación de características ambientales necesarias para lograr calidades mejores para determinados usos, en cultivos que produzcan un buen rendimiento. Los estudios permitirían, además, detectar atributos útiles para la mejora genética de la calidad de frutos y aceites.

B. Objetivos e Hipótesis

1. Objetivos

a) General

Estudiar los efectos del Genotipo, del Ambiente y su interacción sobre características que definen la calidad del aceite y granos de girasol en la región

girasolera argentina, así como la relación de estas con el rendimiento y sus componentes.

b) Específicos

Para las características de aptitud al descascarado de los granos, la composición ácida, los contenidos de ceras, tocoferoles y fosfolípidos y la estabilidad oxidativa de sus aceites:

1. Estudiar las contribuciones relativas de los efectos Genotipo, Ambiente y de la interacción G×E sobre las características citadas.
2. Identificar las etapas fenológicas de máxima respuesta de estas características de calidad al efecto combinado de factores ambientales.
3. Estudiar la respuesta de estas características de calidad a la variación combinada de factores ambientales y establecer sus conexiones con el rendimiento en aceite por unidad de superficie, y sus componentes, a fin de identificar combinaciones de factores ambientales y/o Ambientes y Genotipo que permitan obtener una conjunción de características de calidad superior para un determinado uso.
4. Establecer un nuevo modelo conceptual, que basado en el modelo presentado en la introducción integre los nuevos resultados encontrados en esta tesis.

6. Hipótesis

1. El efecto ambiental explica la mayor parte de las variaciones de peso de cáscara y la aptitud al descascarado del grano de girasol, composición ácida, contenido de ceras, tocoferoles y fosfolípidos y estabilidad oxidativa de su aceite.
2. Para las características de calidad estudiadas existen diferencias entre Genotipos.
3. Para las características de calidad estudiadas se pueden identificar etapas fenológicas con mayor respuesta a las características ambientales que la observada para el ciclo completo de cultivo.
4. Los Ambientes de mayor producción de aceite por unidad de superficie presentan los menores niveles de ácidos grasos saturados, de ácido oleico, de tocoferoles, de porcentaje de proteínas, de aptitud al descascarado y de contenido de ceras y los mayores de fosfolípidos en el aceite.
5. Variaciones en el contenido de nitrógeno del suelo afectaran a la aptitud al descascarado, a la concentración de ceras, tocoferoles fosfolípidos y a la estabilidad oxidativa del aceite, sin efecto sobre la composición ácida.
6. Variaciones en la estabilidad oxidativa del aceite de girasol por efecto del Genotipo, el Ambiente y/o su interacción son principalmente explicadas por variaciones conjuntas en el nivel de insaturación de los ácidos grasos y la concentración de tocoferoles y fosfolípidos en el aceite.

C. Estructura de la tesis

Capítulo 2: Se describen los materiales y métodos utilizados en los experimentos que sirven de base a la tesis, identificando los ensayos realizados, su ubicación geográfica, los Genotipos utilizados y las observaciones realizadas en los cultivos.

También se detallan las variables de suelo consideradas, el registro de variables climáticas, y los análisis de laboratorio para determinar las características de calidad de grano y aceite. De la misma manera, se describen las metodologías utilizadas para estimar los balances hídricos del cultivo, para caracterizar las condiciones de clima para cada etapa fenológica; culminando con una descripción de los métodos estadísticos utilizados para analizar los datos generados.

Capítulo 3: Se analizan diferentes agrupaciones de Ambientes a efectos de identificar las características ambientales o combinación de las mismas que influyeron sobre el rendimiento en aceite, el número y peso de aquenios, así como identificar respuestas diferenciales de los híbridos evaluados, con el objetivo de utilizar estos grupos de Ambientes en análisis posteriores.

Capítulo 4: Se estudia, para las características de porcentaje y peso de cáscara y para la aptitud al descascarado, los efectos relativos del G, E y $G \times E$ (objetivo 1); se identifica la fase ontogénica de máxima respuesta de este indicador de calidad a las condiciones ambientales (objetivo 2), se cuantifica la respuesta de estas características a los factores ambientales y su relación con el rendimiento en aceite, identificando las características de Ambientes en la cuales se puede optimizar la aptitud al descascarado (objetivo 3).

Capítulo 5: Se estudia, para la concentración de ceras en el aceite y en los aquenios, el efecto relativo del G, E y $G \times E$ (objetivo 1) sobre la misma; se identifica la fase ontogénica de máxima respuesta de este indicador de calidad a las condiciones ambientales (objetivo 2), cuantificando la respuesta de estas características a los factores ambientales y su relación con el rendimiento en aceite; se identifican las características de Ambientes en donde su concentración en aceite sería menor (objetivo 3).

Capítulo 6: Se estudian los efectos relativos del G, E y $G \times E$ (objetivo 1) para la concentración de fosfolípidos y sus fracciones en granos y en aceite; se identifica la fase ontogénica de máxima respuesta de este indicador de calidad a las condiciones ambientales (objetivo 2), cuantificando la respuesta de estas características a los factores ambientales y su relación con el rendimiento en aceite. Se describen las características de Ambientes en la cuales se puede optimizar su concentración (objetivo 3).

Capítulo 7: Se estudian los efectos relativos del G, E y $G \times E$ (objetivo 1) para la concentración de tocoferoles y sus fracciones en granos y en aceite; se identifica la fase ontogénica de máxima respuesta de este indicador de calidad a las condiciones ambientales (objetivo 2), cuantificando la respuesta de estas características a los factores ambientales y su relación con el rendimiento en aceite. Se describen las características de Ambientes en la cuales se puede optimizar su concentración (objetivo 3).

Capítulo 8: Se estudian los efectos relativos del G, E y $G \times E$ (objetivo 1) para la composición ácida del aceite; se identifica la fase ontogénica de máxima respuesta a las condiciones ambientales de los diferentes componentes de este indicador de calidad (objetivo 2), cuantificando la respuesta de estas características a los factores ambientales y su relación con el rendimiento en aceite. Se describen las características de Ambientes en la cuales se puede optimizar su concentración (objetivo 3).

Capítulo 9: Se estudian los efectos relativos del G, E y $G \times E$ (objetivo 1) para la estabilidad oxidativa del aceite; se identifica la fase ontogénica de máxima respuesta de este indicador de calidad a las condiciones ambientales (objetivo 2), cuantificando la

respuesta de estas características a los factores ambientales y su relación con el rendimiento en aceite. Se describen las características de Ambientes en la cuales se puede optimizar la estabilidad oxidativa del aceite (objetivo 3). Se analizan, además, las relaciones con otras características del aceite a efectos de determinar su efecto combinado sobre la estabilidad oxidativa.

Capítulo 10: Se realiza un análisis combinado de las características de calidad estudiadas, en conjunto con las características ambientales de las etapas fenológicas que presentaron efectos significativos, así como una discusión general de los resultados obtenidos y la implicancia de los mismos. Se establece un nuevo modelo conceptual que integra los resultados encontrados.

Capítulo 2:

MATERIALES Y MÉTODOS.

Materiales y métodos

A. Genotipo

Para estudiar las respuestas de las características de calidad ante la variación combinada de los factores ambientales se seleccionaron híbridos comerciales (Tabla 2.1) que representan una amplia gama de los Genotipos más sembrados en Argentina, que fueron previamente evaluados en ensayos comparativos de rendimiento realizados en campos de productores durante las campañas 2002 y 2003 por el equipo de desarrollo de Monsanto Argentina, en las áreas girasoleras NEA, OESTE y SUR de la Argentina (ASAGIR, 2004). Estos ensayos permitieron seleccionar y caracterizar a los materiales por su competitividad comercial y por su adaptación a zonas específicas: DK3880CL a la zona SUR, DK4000CL y DK4200 a la zona OESTE, y DK 3820 y DK3920 de amplia adaptación (Tabla 2.1). Las líneas parentales de estos cultivares no se encuentran directamente relacionadas.

Evaluaciones preliminares (Peper *et al.*, 2007) mostraron que los Genotipos seleccionados presentaron amplia variabilidad en la respuesta para diferentes características de calidad y rendimiento, por lo cual sumado a su vasta difusión comercial se consideró que constituyen un conjunto apropiado para evaluar G, E y G×E.

Tabla 2 1: Descripción de las características fenotípicas de los cultivares

Híbridos	DK3880CL	DK3820	DK3920	DK4000CL	DK4200
Ciclo	corto	corto	intermedio	intermedio	intermedio - largo
Madurez realtiva	80	85	92	100	107
Días a floración	57 - 61	59 - 64	66 - 70	66 - 68	70 - 74
Color aquenio	negro	negro	negro	estriado	negro
% Aceite	bajo	alto	medio	bajo	medio
Tamaño de granos	chico	chico	medio	medio	grande

Fuente: Manual técnico de Monsanto Argentina, disponible en folletos comerciales

B. Ambientes

Con el objetivo de captar una amplia diversidad de condiciones ambientales, clima y suelo, así como para cubrir las principales zonas girasoleras de Argentina, se seleccionaron once localidades (Tabla 2.2), con una distribución geográfica desde la latitud -27° 13' hasta -38° 22'.

En cada localidad se sembró un bloque con los 5 híbridos y un testigo (DK3820) repetido tres veces. Los bloques, dentro de cada localidad, fueron ubicadas en sectores homogéneos, apartado de arboledas y a no menos de 20 surcos de los bordes, considerando especialmente la posición en el relieve y que no se presenten efectos diferenciales de profundidad de exploración radical por impedimentos físicos (carbonatos) ni de napa. Cada unidad experimental, dentro del bloque, estuvo constituida por 10 surcos de ancho, 52 cm de distancia entre surcos y 200 m de largo (1040m²). La densidad de plantas a fue determinada, para cada localidad, en función de los valores recomendados.

La posición de los 5 híbridos dentro del bloque fue sorteada al azar. Las parcelas testigo, realizadas con el propósito de evaluar que se cumpla con la condición de uniformidad de lote, fueron ubicadas al comienzo, al medio y al final del bloque. En el caso que el coeficiente de variación del testigo supere el 15% la localidad será descartada (Monsanto Argentina, metodología interna de trabajo)

Sobre las parcelas del testigo se realizaron observaciones de rendimiento, composición acídica y porcentaje de cáscara (la metodología de determinación es desarrollada en los puntos siguientes de este capítulo). Con estos valores se realizó un estudio de uniformidad de las localidades, sumado al análisis de la variación del rendimiento, detallado en el párrafo anterior. Los resultados obtenidos indican que el valor observado en cada localidad para las variables estudiadas es un buen estimador del efecto de las condiciones ambientales de cada localidad sobre estas variables. Los resultados de los análisis realizados se presentan en el anexo I (Tabla A2.1).

Las fechas de siembra se ubicaron dentro del rango normalmente recomendado para cada una de las zonas, con la excepción de dos localidades con fechas tardías, Charata (fecha de siembra retrasada por falta de humedad en la cama de siembra) y Camet 2 (fecha seleccionada a efectos de asegurar un mayor rango de condiciones ambientales). El cultivo antecesor de cada uno de los ensayos representó a las situaciones normales que se encuentran para cada zona.

Estas localidades (Ambientes) se agruparon, en una primera instancia, de acuerdo a la zonificación propuesta por ASAGIR y utilizada por de la Vega y Chapman (2006), en zonas NEA, OESTE y SUR (ASAGIR, 2004). En cada Ambiente, al momento de la cosecha, se extrajeron muestras de aquenios para realizar los diferentes análisis.

Tabla 2 2: Ubicación geográfica, fecha de siembra y cultivo antecesor de las localidades (Ambientes) seleccionados para los ensayos.

Departamento	Localidad	latitud	longitud	Antecesor	fecha siembra
Chacabuco	Charata	-27° 13'	-61° 1'3	soja	1-Oct-04
Gral. Obligado	Reconquista	-29° 08'	-59° 39'	soja	15-Aug-04
Gral. Roca	H.Renanco	-34° 50'	-64° 22'	maíz	15-Oct-04
Maraco	Pico	-35° 39'	-63° 46'	soja	19-Oct-04
Maraco	Quemu Quemu	-36° 03'	-63° 36'	soja	18-Nov-04
Atreuco	Riglos	-36° 51'	-63° 41'	pastura	26-Oct-04
Cnel. Suarez	Cnel. Suarez	-37° 27'	-61° 55'	trigo	28-Oct-04
Gral. Pueyrredon	Camet 1	-37° 56'	-57° 44'	maíz	23-Nov-04
Gral. Pueyrredon	Camet 2	-37° 56'	-57° 44'	maíz	13-Dec-04
Gral. Alvarado	Miramar	-38° 13'	-57° 52'	maíz	14-Oct-04
Tres Arroyos	Cascallares	-38° 22'	-60° 16'	trigo	13-Oct-04

C. Fenología

Para una mejor comprensión del efecto de las condiciones ambientales sobre la calidad de fruto y aceite del girasol, en cada localidad y para cada cultivar se registraron las etapas fenológicas, siguiendo la metodología de Schneiter y Miller (1981), de emergencia, V6, R1, R5.5, R7 y R9. A su vez, el período de desarrollo del cultivo, desde emergencia a R9, fue dividido en etapas fenológicas : plena floración+100°Cd (R5+100), plena floración+200°Cd (R5+200), entre 100 a 200°Cd desde plena floración (R5+100-200), plena floración+300°Cd (R5+300), entre 15 días antes de plena floración y 20 días posteriores (R5 -15+20), entre 100 a 300°Cd desde plena floración (R5+100-

300) y entre 250 a 450°Cd desde plena floración (R5+250-450). Para su determinación se identificaron 10 plantas de cada parcela, los lotes fueron visitados cada 2 días, registrándose la fecha en la cual el 50% de las plantas de cada unidad experimental alcanzaron cada etapa (Schneiter y Miller 1981). En la Tabla 2.3 se presentan los valores medios, del conjunto de híbridos, de cada etapa, para cada localidad.

Tabla 2 3: Fenología del cultivo. Las fechas corresponden a promedios de los cinco cultivares, en las cuales se observaron los diferentes momentos fenológicos por localidad.

Localidad	Zona	fecha siembra	V6	R1	R5.5	R7	MF
Charata	NEA	1-Oct-04	30-Oct-04	25-Nov-04	18-Dec-04	3-Jan-05	25-Jan-05
Reconquista	NEA	15-Aug-04	22-Sep-04	22-Oct-04	23-Nov-04	12-Dec-04	3-Jan-05
H.Renanco	OESTE	15-Oct-04	19-Nov-04	5-Dec-04	3-Jan-04	30-Jan-05	16-Feb-05
Pico	OESTE	19-Oct-04	25-Nov-04	13-Dec-04	6-Jan-05	4-Feb-05	15-Feb-05
Quemu Quemu	OESTE	18-Nov-04	12-Dec-04	1-Jan-05	23-Jan-05	18-Feb-05	4-Mar-05
Riglos	OESTE	26-Oct-04	30-Nov-04	15-Dec-04	11-Jan-05	11-Feb-05	20-Feb-05
Cnel. Suarez	SUR	28-Oct-04	28-Nov-04	19-Dec-04	13-Jan-05	13-Feb-05	22-Feb-05
Camet 1	SUR	23-Nov-04	20-Dec-04	17-Jan-05	2-Feb-05	4-Mar-05	14-Mar-05
Camet 2	SUR	13-Dec-04	6-Jan-05	1-Feb-05	14-Feb-05	17-Mar-05	26-Mar-05
Miramar	SUR	14-Oct-04	24-Nov-04	16-Dec-04	10-Jan-05	7-Feb-05	16-Feb-05
Cascallares	SUR	13-Oct-04	22-Nov-04	18-Dec-04	13-Jan-05	12-Feb-05	22-Feb-05

D. Caracterización edáfica

El tipo de suelo, en las diferentes localidades, abarcó la gama de suelos francos, mayormente sin limitaciones de profundidad efectiva para el desarrollo radical del girasol, con excepción de la localidad de Reconquista, donde se observó presencia de un horizonte B textural, y de Coronel Suarez, con limitaciones por concreciones calcáreas. En cada localidad de ensayo, inmediatamente antes de la siembra, se tomaron muestras de suelo a las profundidades de 0-20, 20-40 y 40-60 cm. Las muestras fueron realizadas con barreno y resultan de la combinación de cinco sub muestras por bloque. En cada muestra se determinó: materia orgánica (%) por el método de Walkley y Black (1974); nitrógeno (N), por colorimetría (naftiletilendiamina) (Bremner y Mulvaney, 1982); fósforo como P_2O_5 (ppm), (Sims, 2000); acidez de suelo (pH) en agua, relación suelo:agua de 1:2,5; densidad aparente por el método del cilindro, textura por densimetría de Bouyoucos; profundidad efectiva (cm) y porcentaje de humedad presente, por gravimetría, hasta los 2 metros de profundidad o hasta la profundidad efectiva (Gardner y Klute, 1986; Gil, R., 2005). El nitrógeno disponible ($kg\cdot ha^{-1}$) fue estimado en función del contenido de nitrógeno a la profundidad de muestreo (0-60cm) y de la densidad aparente. Los análisis de las muestras de suelos fueron realizados en laboratorios de suelos privados, cercanos a cada localidad de ensayo, los cuales fueron seleccionados por trabajar con métodos calibrados entre sí, habiendo sido evaluados en campañas anteriores por el equipo técnico de Monsanto. Los resultados de cada variable de suelo estudiada se indican en la Tabla 2.4.

Tabla 2 4: Características de los suelos de las distintas localidades de ensayo, N: nitrógeno ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) disponible, P: fósforo (P_2O_5) disponible entre 0–60 cm de profundidad. Agua disponible en función de la profundidad efectiva. Ver índice de abreviaturas, página xxv, para el significado de aquellas utilizadas en esta tabla.

Localidades	Zonas	Materia Orgánica (%)	N inicial ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	P (ppm)	pH	Textura	densidad aparente ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Profundidad efectiva (cm)	Agua útil disponible (mm)
Charata	NEA	2,0	18,4	45,6	6,2	Franco limoso	1,48	200	178
Reconquista	NEA	1,2	8,0	9,5	6,5	Franco limoso	1,45	80	26
H.Renanco	OESTE	1,6	16,8	17,0	6,0	Franco arenoso	1,27	200	76
Pico	OESTE	6,2	56,5	64,0	6,3	Franco arcilloso.	1,32	200	209
Quemu Quemu	OESTE	1,5	25,3	13,0	6,9	Franco	1,28	200	227
Riglos	OESTE	2,0	32,5	32,0	6,3	Franco arenoso	1,25	200	300
Camet 1	SUR	6,6	82,4	21,6	5,9	Franco arcilloso.	1,32	200	322
Camet 2	SUR	6,6	80,4	21,6	5,9	Franco arcilloso.	1,32	200	304
Cascallares	SUR	3,1	62,8	11,7	6,6	Franco	1,28	200	238
Cnel. Suarez	SUR	3,2	45,5	9,0	6,3	Franco	1,25	100	96
Mramar	SUR	2,1	88,3	45,6	6,2	Franco	1,35	200	54

El contenido de nitrógeno de los suelos varió desde 8 a $88 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Al valor de nitrógeno observado en cada localidad se le agregó, en forma de urea, $57,6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N, aplicados a efectos de evitar deficiencias de este nutriente, pero manteniendo las diferencias entre Ambientes. La suma del nitrógeno inicial del suelo más el aplicado por fertilización es considerado como nitrógeno inicial disponible por el cultivo.

Al momento de la siembra el agua disponible para el cultivo, definida como la diferencia entre el agua presente en el suelo en un determinado momento menos el punto de marchitez permanente (Allen R.G *et al.*, 2006; Gil, 2005) varió desde 26 mm a 322 mm. Cabe aclarar que en ningún caso la siembra se realizó en condiciones en las cuales el contenido de humedad en la cama de siembra haya sido limitante para la germinación de la semilla de girasol.

E. Caracterización climática

La caracterización climática fue realizada utilizando casillas meteorológicas automáticas, con registro de valores cada hora, ubicadas en cada localidad de ensayo, durante el período comprendido desde la siembra a la cosecha. Se consideran valores medios diarios de cada característica.

Para cada localidad se evaluaron precipitaciones (mm), temperatura del aire media ($^{\circ}\text{C}$ med), máxima ($^{\circ}\text{C}$ max) y mínima ($^{\circ}\text{C}$ min), radiación incidente expresada como radiación fotosintéticamente activa (PAR), el cual fue estimada como la radiación incidente expresada en $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\times 0,48$, coeficiente fototermal (CQ), humedad relativa (HR), presión de vapor de saturación (PVS (kPa)) y déficit de presión de vapor (DPS) (Allen *et al.*, 2006).

El balance hídrico del cultivo y el agua edáfica disponible fueron estimados para cada una de las fases fenológicas a estudiar, considerando los datos climáticos, las características del suelo y el agua inicial (Allen *et al.*, 2006, Gil, R., 2005); estimándose valores medios de evapotranspiración del cultivo ETC (mm), agua útil disponible AUD (mm) y porcentaje de agua útil (%AU), así como los valores acumulados en cada etapa fenológica de evapotranspiración del cultivo y lluvia efectiva (mm).

En la Tabla 2.5 se presentan, para el período EME-R9, los valores medios de temperatura media ($^{\circ}\text{C}$ med), radiación incidente fotosintéticamente activa (PAR) y del coeficiente fototérmico (CQ), así como los valores acumulados de lluvia total y efectiva (Dastane, 1974, Gil, R., 2005) y de la evapotranspiración del cultivo (ETC),

para cada una de las localidades, los datos permiten apreciar la amplitud de condiciones exploradas con el conjunto de localidades seleccionadas, aún considerando valores medios a través del ciclo de cultivo.

Tabla 2 5: Valores de medias diarias de Temperatura media ($T^{\circ}\text{C}$), Radiación fotosintéticamente activa (PAR), coeficiente Fototermal (CQ) y acumulados de lluvia total, lluvia efectiva y evapotranspiración del cultivo (ETC) para el periodo emergencia del cultivo (EME) a madurez fisiológica (R9).

Localidades	Zona	$T^{\circ}\text{C med}$ ($^{\circ}\text{C}$)	PAR ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$)	CQ ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{día}^{-1}.\text{C}^{-1}$)	Lluvia (mm)	Lluvia Efectiva (mm)	ETC Acum (mm)
Charata	NEA	25,31	11,74	0,97	260	218	347
Reconquista	NEA	21,55	9,97	0,96	451	334	398
H.Renanco	oeste	20,71	9,92	1,00	615	450	449
Pico	oeste	20,50	10,26	1,04	542	415	465
Quemu Quemu	oeste	21,92	10,98	1,04	222	185	390
Riglos	oeste	20,86	10,78	1,08	311	247	530
Camet 1	sur	19,53	11,00	1,17	176	126	381
Camet 2	sur	19,40	10,58	1,14	174	125	360
Cascallares	sur	19,17	11,16	1,21	277	240	417
Cnel. Suarez	sur	19,78	10,46	1,10	335	258	337
Miramar	sur	19,48	11,00	1,18	296	281	438

F. Evaluaciones a campo

Además de las características enumeradas anteriormente en cada localidad fueron realizadas las siguientes evaluaciones:

1. Número de hojas verdes en R5.5 y R7: en 10 plantas, previamente seleccionadas, de cada unidad experimental se contó el número de hojas verdes, considerando hoja verde a aquella que presentaba más del 50% del área foliar activa. El porcentaje de hojas verdes a R7 se estimó como el número de hojas verdes en R7 dividido el número de hojas verdes en R5.5 (Estrada, 1999).
2. La uniformidad de los lotes, en cuanto a número de plantas y distribución de las mismas, fue evaluada durante el desarrollo del cultivo a efectos de identificar unidades experimentales con posibles problemas de desuniformidad.
3. El número de plantas fue evaluado en cuatro repeticiones por unidad experimental sobre una superficie de 10m^2 (19.23 m lineales de surco). Se expresan en plantas por metro cuadrado. Las Unidades experimentales con un desvío superior al 20% del promedio del número de plantas serían descartadas.
4. Rendimiento en grano, expresado en kg.ha^{-1} : cada unidad experimental fue cosechada con la maquinaria del productor y pesada *in situ* utilizando balanzas portátiles con una precisión de $\pm 0.5\text{kg}$.
5. Extracción de muestras de aquenios: Al momento de la descarga de lo cosechado en cada unidad experimental se dejó correr el grano por el tubo de descarga hasta flujo constante, momento a partir del cual se tomaron 3 muestras, en forma directa del tubo de descarga, de las cuales una vez unificadas y homogeneizadas, se extrajeron aproximadamente 3 kg para ser utilizados para los análisis de laboratorio.
6. Humedad a cosecha: se determinó la humedad del grano mediante conductividad eléctrica. Para su análisis los valores de rendimiento, en granos y en aceite, fueron expresados en kg.ha^{-1} , base seca (0% de humedad).

G. Análisis de laboratorio

1. Peso de 1000 achenios (PG): fue determinado sobre los achenios cosechados de cada parcela, previa homogenización del material para evitar estratificación en el tamaño de los granos. Se extrajeron, al azar, cuatro muestras de 100 achenios cada una de las cuales fueron pesadas, y los valores obtenidos fueron corregidos por humedad a base seca y promediados.
2. La humedad presente del grano se determinó pesando 4 muestras de 100 granos cada una, determinándose el peso húmedo. Cada muestra fue secada en estufas hasta peso constante, determinándose el peso seco. El porcentaje de humedad se determinó como la diferencia del peso húmedo menos el peso seco dividido el peso seco.
3. El número final de achenios por planta (NGP): se calculó a partir del peso seco de la muestra total de achenios y el peso seco de 1000 achenios (PG), dividido por el número de plantas cosechadas.
4. Número de achenios por unidad de superficie (NG): surge de dividir el rendimiento en achenios por el peso de achenios.
5. Porcentaje de aceite: fue determinado mediante Resonancia Magnética Nuclear (NMR), (Robertson y Morrison, 1979) empleando un Analyser Magnet Type 10 (Newport Oxford Instruments, Buckinghamshire, Inglaterra), de acuerdo a la norma Ai2-75 (AOCS, 1998).
6. Rendimiento en aceite: surge de multiplicar el porcentaje de aceite por el rendimiento en achenios. Se expresa en $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, base seca.
7. Porcentaje de proteínas: se determinó nitrógeno total mediante la utilización del equipo LECO FP-528 (Wiles *et al.*, 1997) con posterior corrección por el factor 6,28 con el objeto de convertir los valores de nitrógeno total a contenido de proteína bruta (AOAC, 1990).
8. Composición ácida: los porcentaje de ácido oleico, linoleico, linolénico, mirístico, esteárico y palmítico, se determinaron mediante la utilización de espectroscopia cercana al infrarrojo (NIRS FOSS SYSTEM, USA) sobre tres muestras previamente molidas, con cáscara, de cada unidad experimental. Las curvas de calibración fueron previamente chequeadas con muestras analizadas por cromatografía en fase gaseosa mediante GLC (Cromatografía en fase gaseosa).
9. Índice de Iodo: estimado a partir de la composición ácida, según norma AOCS CdIc-85 (1998).
10. Cenizas: se cuantificaron mediante la aplicación de la norma Ba-49 AOCS (1998), determinando como ceniza al residuo que permanece después de la incineración (horno mufla a $600 \pm 15^\circ\text{C}$) del grano molido, al cual previamente se le extrae el aceite mediante solvente (hexano).
11. Porcentaje de cáscara: Se obtuvo por separación manual de la cáscara a partir de una muestra de 10 gramos, expresándose en porcentaje de cáscara, estimado como el peso total de la cáscara dividido el peso total de achenios por 100.
12. Peso de cáscara por achenio: se obtuvo por separación manual de la cáscara a partir de una muestra de 10 gramos, calculándose como el peso total de cáscara dividido el número de granos, expresado en gramos por 1000 achenios.
13. Aptitud al descascarado: definida como la relación porcentual entre el porcentaje de cáscara extraído mecánicamente con respecto al porcentaje de cáscara total (Riccobene *et al.* (2001); Fernández *et al.* (2001). La operación de descascarado mecánico se efectuó por impacto en un equipo de descascarado basado en un

proceso centrífugo (3300 rpm) cuyo principio de funcionamiento es similar al utilizado en la industria aceitera. Debido a que la humedad del grano influye sobre su aptitud al descascarado, la determinación de esta propiedad se realizó sobre muestras de humedad homogénea (aprox. 6 % b.s.) (Baümler *et al.*, 2006).

14. Extracción de aceite: El aceite se extrajo de los granos enteros de girasol previamente molidos utilizando como solvente el hexano (Soxhlet) (Nolasco *et al.* 2004)
15. Ceras: la determinación del contenido de ceras en aceites se basó en el método del Diario Oficial de las Comunidades Europeas N° L 22/61-65 Anexo IV (30.01.93), el que fue adaptado para aceites de girasol (Carelli *et al.*, 2002). El mismo consiste en el fraccionamiento del aceite, al que se le ha añadido un patrón interno (laureato de arquidilo), mediante cromatografía en columna de gel de sílice hidratado; recuperación de la fracción eluida en las condiciones de ensayo y análisis directo mediante cromatografía de gases con inyector, columna capilar y detector FID (CGL Varian 3700 USA).
16. Estabilidad oxidativa: expresada mediante el índice de estabilidad oxidativa (OSI) determinado según norma Cd 12b – 92 AOCS (1998). Muestras de aceite se sometieron a oxidación acelerada (98°C, flujo de aire de 20 L h⁻¹, durante 22 hs) en un equipo Rancimat Mod 679 (Metrohm AG, Herisau, Switzerland). La estabilidad oxidativa fue expresada en términos de inducción (h).
17. Tocoferoles: se determinó el contenido de tocoferoles totales y de los isómeros en los aceites mediante una técnica cromatográfica basada en las normas IUPAC (1992) y Ce8-89 AOCS (1998). La muestra de aceite se disolvió en hexano para su posterior cuantificación por cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC Hewlett Packard Serie 1050, Alemania), equipado con un detector de fluorescencia (λ excitación: 290 nm, λ de emisión: 330 nm). La concentración de tocoferoles se determinó por el método de estándar externo, utilizando el α -tocoferol como referencia y se expresó en μg de tocoferol $\times\text{g}$ aceite⁻¹.
18. Fosfolípidos: los fosfolípidos (L- α – fosfatidiletanolamina, L- α – fosfatidato sódico, L- α – fosfatidilinositol, L- α – fosfatidilcolina) presentes en el aceite se concentraron empleando cartuchos de extracción de fase sólida diol de 0,500 gramos (J. T. Baker Inc., Phillipsburg, NJ) y posteriormente se cuantificaron por HPLC. (Carelli *et al.*, 1997). Se cuantificaron por el método del estándar externo mediante cromatografía líquida (Varian Vista 5500 HPLC USA) empleando detector UV (206 nm) empleando una columna de Micropack SI-10 (300x4 mm), según la norma para lecitinas de soja AOCS Ja 7b – 91 (1998).

Al no encontrarse en un solo laboratorio disponibilidad de los elementos necesarios para llevar adelante los diferentes análisis se debió trabajar con varias instituciones:

1. Laboratorio de “Crops analytics”, Monsanto Argentina, Camet, Provincia de Buenos Aires: peso de aquenios, concentración de aceite, composición acídica, porcentaje de proteínas en grano.
2. TECSE (Tecnología de Semillas y Alimentos), Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Olavarría, Provincia de Buenos Aires: aptitud al descascarado, porcentaje de cáscara, ceras, tocoferoles, estabilidad oxidativa y fosfolípidos.
3. Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Cátedra de cereales. Composición acídica del aceite.

H. Agrupación de localidades en función de características ambientales

Con el objetivo de evaluar los efectos de las condiciones ambientales sobre la calidad frutos y aceite de girasol, las localidades fueron agrupadas siguiendo el criterio de zonas agroecológicas (ASAGIR, 2004, de la Vega y Chapman 2006) y por el uso de técnicas numéricas de clasificación (Sneath y Sokal, 1973) y de regresión múltiple (Steel y Torrie, 1960), recurriendo al programa JMP de SAS (SAS Institute Inc. 2012). Se armaron matrices de localidades por variables; las variables utilizadas fueron: a) productividad media en aceite, b) nitrógeno disponible en el suelo, c) agua disponible durante el ciclo del cultivo, d) evapotranspiración total del cultivo y e) la combinación de rendimiento medio, contenido inicial de nitrógeno y agua útil disponible durante el ciclo de cultivo. Se utilizó el coeficiente de distancia Euclídea para calcular la matriz de distancia entre localidades por variable; en todos los casos se utilizó como método de agrupamiento la varianza mínima de Ward. Con el objeto de determinar el número de agrupaciones se evaluó el estadístico pseudo t^2 a través de un gráfico construido utilizando dicho estadístico contra el número de grupos (Khattree y Naik, 2000).

En función de estos grupos, para cada una de las características de calidad estudiadas, se realizaron los análisis de varianza, para evaluar los efectos sobre la variabilidad total del Genotipo, del Ambiente y su interacción G×E, y un test de Tukey al 5% de probabilidad, para las comparaciones entre medias.

I. Diseño experimental y modelo estadístico

Para estimar cuan importante fue el aporte del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E sobre la variabilidad total observada se realizó un estudio de componentes de varianza. Se empleó un modelo mixto que presenta dos factores fijos cruzados: Agrupación de Ambientes (factor fijo) e Híbrido (Factor fijo) y las localidades están anidadas en la interacción Agrupación de Ambientes*Híbrido (factor aleatorio)

El modelo empleado para el análisis de la varianza fue:

$$y_{ikj} = \mu + z_k + l_j/z_k + g_i + gz_{ik} + \varepsilon_{ikj}$$

y_{ikj} = Valor observado de la variable en estudio en una unidad experimental

μ = Media general

z_k = Efecto de la “Agrupación de Ambientes”. Se considera efecto fijo k variando entre 2 y 3

l_j/z_k = Efecto de la localidad j, anidado dentro de la “Agrupación de Ambientes” k. Se considera efecto aleatorio. J variando entre 2, 3, 4, 5

g_i = Efecto del Genotipo i. Se considera efecto fijo. i=5

gz_{ik} = Efecto de la interacción del Genotipo i y la “Agrupación de Ambientes”k.

ε_{ikj} = Término de error asociado a la observación

El porcentaje de la variabilidad total explicada por cada efecto principal fue calculado en función de la razón entre la suma de cuadrados de cada efecto principal dividido la suma de cuadrados totales por 100.

J. Metodología de análisis:

Para las características de peso de cáscara y aptitud al descascarado de los granos y para los contenidos en granos y aceite de ceras, tocoferoles y fosfolípidos y para la composición ácida y la estabilidad oxidativa del aceite se realizaron:

1. Análisis de distribución: Evaluación del ajuste a la distribución normal o identificación del modelo de distribución para las variables respuestas y prueba de homoscedasticidad.
2. Con la matriz de los datos de las características de cada Genotipo en cada localidad se calculó la matriz de correlaciones fenotípicas entre variables aplicando el coeficiente de correlación de Pearson.
3. Análisis de modelos de regresión y exploración de su ajuste según la variable considerada utilizando las variables respuestas estudiadas y en función de variables ambientales o fenotípicas utilizadas como variables independientes.
4. Análisis de regresión multivariada, para observar los efectos combinados de las características de calidad y del ambiente.

El modelo empleado para el análisis de la regresión multivariada fue:

$$Y_{in} = f(\mathbf{g_i}) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots \beta_n X_n + \beta_{in} \mathbf{g_i} X_n + \mathbf{g_i} + \boldsymbol{\varepsilon}_{in}$$

$Y_{in} = f(\mathbf{g_i})$ Valor esperado de la variable en estudio en función del genotipo i

$\mathbf{g_i}$ = Efecto del Genotipo i. Factor de clasificación. i =5

β_0 = Valor de intercepción

$\beta_n X_n$ = Efecto de la característica ambiental. Variable continua n= 1 a 5

$\beta_{in} \mathbf{g_i} X_n$ = Efecto de la interacción Genotipo por característica Ambiental

$\boldsymbol{\varepsilon}_{in}$ = Terminio de error

Este método puede involucrar tanto a factores de clasificación como a las covariables (variables continuas). Las características a ser incluidas en el modelo fueron seleccionadas utilizando las rutinas incluidas en el programa JMP de SAS (SAS Institute Inc. 2012). A efectos de disminuir el efecto de autocorrelaciones, posibles dada las características ambientales estudiadas, se selecciono un valor máximo del factor de inflación de varianza (VIF) igual a 2,5 (Craney y Surles, 2002). Este análisis fue realizado con el objetivo de:

- a. Determinar momentos de mayor respuesta a las condiciones ambientales, a través de las 10 diferentes etapas fenológicas descriptas con anterioridad.
- b. Identificar las variables ambientales de mayor efecto sobre cada una de las características de calidad de granos y aceite estudiadas.
- c. Cuantificar la contribución relativa sobre la variabilidad total de las características de calidad de granos y aceite estudiadas del genotipo, de variables ambientales y su interacción.

5. Análisis de conglomerados (Sneath y Sokal, 1973) que permitieron clasificar:
 - a. Híbridos promediando localidades en función de variables de calidad en aceites, rendimiento de granos y características ambientales condicionantes de calidad.
 - b. Localidades promediando híbridos en función de variables de calidad en aceites, rendimiento de granos y características ambientales condicionantes de calidad.

En ambos casos la matriz básica de datos fue estandarizada debido a las diferentes unidades de medidas de las variables estudiadas. Se aplicaron 3 coeficientes de distancias diferentes: Distancia taxonómica media, distancia euclídea cuadrática y distancia Manhattan (Sneath y Sokal, 1973). Todos los dendrogramas se construyeron aplicando el método de agrupamiento UPGMA. Para elegir el mejor dendrograma, se calculó el CCC (coeficiente de correlación cofenético) como una medida de la distorsión que produce cada técnica de clasificación utilizada con respecto a la matriz de datos originales, a mayor CCC mejor ajuste (Sneath y Sokal, 1973).

Las localidades se clasificaron usando separadamente variables biológicas y variables ambientales. Las matrices de distancia entre localidades construidas con ambos tipos de variables, biológicas y ambientales, fueron comparadas utilizando el coeficiente de correlación de Pearson y el t-test de Mantel normalizado (Mantel, 1967).

6. Análisis de componentes principales (ACP) para clasificar localidades en función de los factores ambientales, características de calidad y de componentes de rendimiento. Los híbridos dentro de cada localidad fueron utilizados como OTUS (unidades operativas clasificatorias) (Sneath y Sokal, 1973). También se aplicó el ACP para realizar la clasificación de las localidades separadamente, una utilizando las variables de calidad de aceite y rendimiento en grano y otra con factores ambientales. Con los primeros componentes principales, que explican el mayor porcentaje de variación, se construyeron Biplots representando las localidades y sus híbridos conjuntamente con las variables clasificatorias. Los coeficientes de los vectores propios indicaron que variable tuvo más peso en la discriminación de los híbridos en las localidades (Gabriel, 1971; Vargas et al., 2001).
7. El análisis de coeficiente de paso fue utilizado para particionar los coeficientes de correlación entre variables en efectos directos e indirectos (Li, 1975). Con este fin se construyeron diagrama lógicos de causa-efecto con los caracteres considerados, teniendo en cuenta la significancia de los coeficientes de correlación obtenidos entre variables ($p < 0.05$) y el peso discriminatorio que tuvieron las variables en el análisis de componentes principales (Coba Cisneros, 2006). Para cada esquema se realizó un diagnóstico de colinealidad. Para nuestros datos la existencia de colinealidad se debe a correlaciones altas entre variables explicativas pudiendo provocar resultados absurdos al aplicar el análisis de coeficiente de paso. Colinealidades altas producen autovalores nulos y por lo tanto la matriz se torna singular, siendo inadecuada para los estudios donde se aplica dicho análisis. La presencia de colinealidad sobreestima el efecto directo de las variables independiente sobre la variable dependiente. Por consiguiente, se probó colinealidad y cuando ésta fue alta se realizó una nueva selección de variables a incluir en el modelo (Cruz, 2001; Montgomery y Peck, 1981).

8. El diagrama de senderos representa las relaciones de causalidad que se suponen existen entre un conjunto de variables. Se siguió la metodología propuesta por Li, 1975, Holland, 1988 y Coba Cisneros, 2006.
9. Análisis de partición recurrente o árboles de decisión: Se utilizó para el estudio conjunto de la influencia de características del cultivo y ambientales sobre las variables de calidad. Los árboles de clasificación están diseñados para variables dependientes que tienen un número finito de valores desordenados, con error de predicción medido en términos de coste de clasificación errónea. Los modelos se obtienen particionando de forma recursiva los datos y ajustando un modelo de predicción mas sencillo dentro de cada partición. Como resultado, la partición se puede representar gráficamente como un árbol de decisión que identifica las situaciones o combinaciones de variables en las cuales se obtiene una determinada respuesta (Loh, 2011, Speybroeck, 2012).

Los análisis estadísticos fueron realizados utilizando los programas incluidos en JMP de SAS (SAS Institute Inc. 2012), Infostat 2012 (Di Rienzo *et al.*, 2012), NTSYSpc (Rohlf, 1998) y Genes (Cruz, 2001).

Capítulo 3:

**SELECCIÓN DE GRUPOS DE AMBIENTES Y ANÁLISIS DEL EFECTO DE LAS
VARIABLES AMBIENTALES SOBRE EL RENDIMIENTO EN ACEITE, PESO Y NÚMERO DE
AQUENIOS DEL GIRASOL**

Selección de agrupaciones de Ambientes y análisis del efecto de las variables ambientales sobre el rendimiento en aceite, peso y número de achenios del girasol

En este capítulo se aborda el análisis de grupos de Ambientes formados en función de los valores observados en cada localidad de factores o combinaciones de factores ambientales durante el ciclo de cultivo (EME-R9), con el objetivo de determinar su efecto sobre el rendimiento en aceite, peso y número de achenios, así como para identificar respuestas diferenciales de los híbridos evaluados. Los grupos de Ambientes seleccionados son utilizados en los capítulos siguientes, en los análisis de las características de calidad de granos y aceite. En el presente capítulo también se estudia el efecto de las características ambientales sobre el rendimiento, peso y número de achenios, identificando la fase ontogénica de mayor incidencia sobre estas características. Existe evidencia, en la bibliografía disponible, de las relaciones planteadas entre características del Ambiente y su efecto sobre el rendimiento y sus componentes (Aguirrezábal y Pereyra, 1998; Aguirrezabal *et al.*, 2003; Balalić *et al.*, 2012; Cantagallo *et al.*, 2004; Cantagallo y Hall, 2002; Chimenti y Hall, 2001; de la Vega y Hall, 2002 a y b; Nolasco *et al.*, 2004; Ruiz y Maddonni, 2006), lo cual permite, además de aportar nueva información sobre este importante punto, contrastar, a través de los resultados obtenidos en este capítulo, la metodología utilizada para el análisis de las características de calidad.

A. Introducción

Tanto el rendimiento como la calidad del aceite de girasol están influenciados por las características del Genotipo, por el Ambiente y por la interacción entre ambos (Aguirrezábal y Pereyra, 1998; de la Vega y Hall, 2002 a y b; Di Leo *et al.*, 2004; Nolasco *et al.*, 2004). Correlaciones negativas entre niveles de proteínas y contenido de aceite en granos de girasol son bien conocidas, sin embargo son pocos los trabajos que han estudiado las variaciones de esta relación para un mismo Genotipo (Aguirrezábal y Pereyra, 1998) y su interrelación con el rendimiento tal como ha sido evaluado en otros cultivos.

En la conformación del rendimiento en grano y/o aceite el Ambiente afecta principalmente a los procesos de fijación de los granos y a la determinación del peso final de los mismos, existiendo diferencia genotípica en la respuesta a estos factores (Aguirrezábal *et al.*, 2003; Balalić *et al.*, 2012; Cantagallo y Hall, 2002; Cantagallo *et al.*, 2004; Lindstrom *et al.*, 2006; Ruiz y Maddonni, 2006). El rendimiento de aceite de girasol está fuertemente relacionado a la duración del área foliar durante la fase comprendida entre antesis y madurez fisiológica, incidiendo sobre el peso de los granos (Connor y Sadras, 1992; Estrada, 1999; Gutiérrez *et al.*, 2000a; Hall *et al.*, 1985; Ruiz R.A., Maddonni G.A., 2006), la cual puede ser medida como la tasa de senescencia durante el llenado de granos (Estrada, 1999; Gutiérrez *et al.*, 2000b). Una parte importante de la variabilidad tanto del rendimiento, como de sus componentes, se debe al efecto de la interacción G×E (de la Vega y Chapman, 2006; de la Vega y Hall, 2002b; de la Vega *et al.*, 2002).

Si bien los efectos de características ambientales sobre el rendimiento y sus componentes son ampliamente conocidos y discutidos en la bibliografía disponible, la mayoría de estos trabajos fueron realizados bajo condiciones controladas de Ambiente, cámaras o invernáculos, o a través de la generación de condiciones específicas de estrés en estaciones experimentales, como por ejemplo, sombreado en determinados períodos, diferentes suministros de agua, etc. La estrategia seleccionada en esta tesis consistió en comprender el efecto de estas características ambientales, a través de un amplio número de localidades y de situaciones normales de cultivo en las distintas regiones incluidas en este estudio, y de sus interacciones, a través de los diferentes períodos de crecimiento y desarrollo. Lo anterior permite utilizar el conocimiento generado como base para analizar la relación entre rendimiento en aceite y las variables de calidad, dado que cambios en las relaciones de estas características pueden afectar las respuestas del cultivo (Carrera *et al.*, 2009).

Los objetivos de este capítulo son:

1. Generar agrupaciones de las localidades incluidas en este trabajo en función de las características o combinaciones de características ambientales que afectaron el rendimiento en aceite, el peso y el número de achenios.
2. Identificar híbridos con respuestas diferenciales a las características de los distintos Ambientes.
3. Identificar las características ambientales, o combinación de las mismas, que afectaron al rendimiento en aceite, al peso y al número de achenios, así como la ventana fenológica de mayor incidencia sobre cada una de estas variables.

B. Generación de grupos de localidades.

Las localidades de ensayos, distribuidas a través de diferentes zonas geográficas, estuvieron sujetas a diversas combinaciones de factores ambientales (Tablas 2.4 – 2.5). La agrupación de estas localidades en función de patrones de condiciones ambientales semejantes permitió analizar su efecto sobre el rendimiento en aceite y sus componentes. En total se generaron 6 diferentes agrupaciones de localidades en función de zonas agroecológicas (1), índice de productividad media (2), agua total disponible (3), evapotranspiración del cultivo (4), nitrógeno inicial disponible (5) y en función de la variación conjunta del índice de productividad media, agua útil disponible y nitrógeno inicial disponible (6) Para cada agrupación se generaron grupos de localidades, en función de su capacidad para discriminarlos dentro de cada conjunto de variables, mediante el análisis de clasificación. A los conglomerados de localidades dentro de cada agrupación en adelante se los denominará “grupo”.

La agrupación por Zonas Agroecológicas fue realizada considerando la zonificación propuesta tanto por ASAGIR (2004) y por de la Vega y Chapman (2006); esta es la segmentación de Ambientes de mayor utilización. Estas zonas difieren en cuanto a su influencia relativa sobre el rendimiento de granos y aceite, sobre el peso y número de granos y sobre el porcentaje de aceite (Tabla A3.2).

La zona NEA se diferenció de las otras dos zonas, Oeste y Sur, por presentar valores más elevados de temperatura así como valores inferiores de coeficiente fototérmico, fue la zona con menor rendimiento. La zona OESTE se diferenció de la SUR por presentar un coeficiente fototermal (CQ) inferior y menor contenido de materia orgánica (%MO) en el suelo. Estas diferencias en características ambientales no

se reflejaron en rendimiento, pero si en la forma como se generó el rendimiento, la zona SUR presentó un mayor número de aquenios, en cambio el OESTE presentó mayor peso de los mismos, así como un mayor porcentaje aceite (Tabla A 3.2).

Mediante el índice de productividad media de cada localidad se conformaron 3 grupos de localidades, por el método de Ward en función de la distancia Euclidia usando InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2012). La correlación cofenética fue 0,782 (Figura A 3.1). Los grupos de rendimientos altos y medios no difirieron entre si en los valores medios de ninguna de las características climáticas evaluadas. El menor rendimiento del grupo medio con respecto al grupo de alto rendimiento estuvo relacionado a un menor peso de aquenios. El grupo de menor rendimiento, conformado principalmente por localidades del NEA, presentó, con respecto a los otros dos grupos, valores superiores de temperaturas mínimas y medias, así como valores inferiores de CQ y de humedad relativa (HR). Este grupo de menor rendimiento presentó un menor número de granos pero con mayor peso respecto a los otros dos grupos (Tabla A3.3).

Al analizar las variaciones del rendimiento en aceite en función del agua total disponible, estimada como agua inicial disponible más lluvia efectiva a través del ciclo de cultivo, se observó que esta variable ambiental puede explicar en gran medida las variaciones del rendimiento, en función de un modelo cuadrático ($R=0,91$; $p=0,004$, $n=9$) (Figura 3.1). La distribución observada de los valores obtenidos fue semejante a la reportada por (Grassini *et al.*, 2009), el cual trabajando con una gran base de datos de rendimiento y agua útil disponible, generada con datos de productores durante cuatro años, y contrastada con datos de rendimiento y uso del agua recopilada de la bibliografía, mostró que los máximos rendimientos se obtendrían con valores de agua total disponible entre 500-600 mm. El análisis de los datos obtenidos en este trabajo mostró que los máximos rendimientos se obtendrían con valores de 480 mm de agua total disponible (Figura A 3.2).

El modelo descripto anteriormente permitió generar dos grupos, por un lado localidades en las cuales el agua total disponible fue deficitaria, Camet 1 y 2, Cnel. Suarez, Quemu Quemú y Reconquista, con un valor promedio de agua total disponible de $400 \text{ mm} \pm 41,8\text{mm}$; por otra parte localidades en las cuales el agua total disponible no fue una limitante del rendimiento en aceite, valor promedio de $535 \text{ mm} \pm 73\text{mm}$, donde se ubicaron Miramar, Cascallares, Riglos y Gral. Pico (Figura A3.3). No se observaron situaciones con exceso de agua (Figura 3.1). El grupo con menor cantidad de agua total disponible presentó valores medios de rendimiento en aceite ($1312 \pm 207 \text{ kg.ha}^{-1}$) inferiores significativamente ($p<0,0001$) a los observados en los Ambientes de mayores contenidos de humedad ($1655 \pm 77 \text{ kg.ha}^{-1}$). No obstante lo anterior, la eficiencia del uso del agua (EUA) no varió significativamente ($p>0,15$) entre las dos situaciones diferenciadas, presentando un valor promedio de $7,35 \pm 0,90 \text{ kg.mm}^{-1}$ (Tabla A3.4).

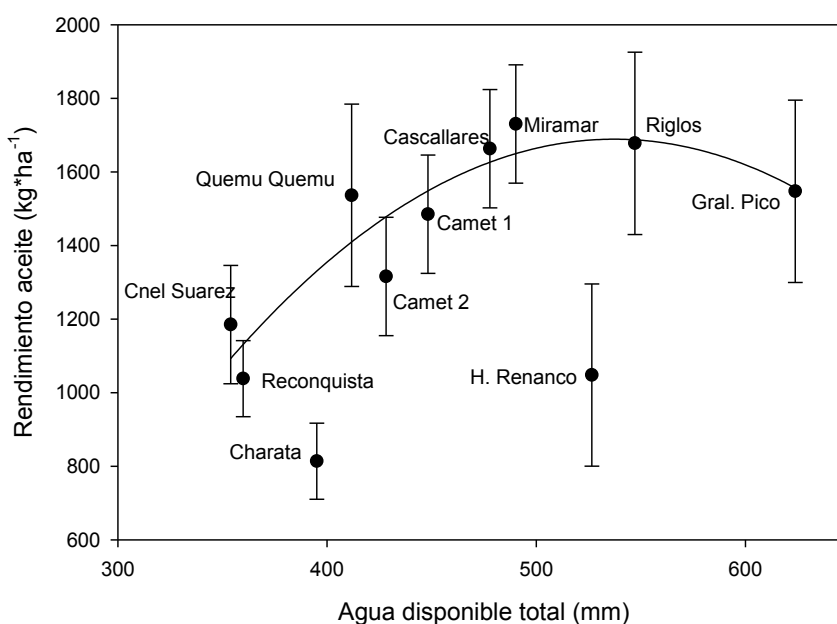


Figura 3.1: Relación entre rendimiento en aceite con el agua disponible total (x) durante el período EME-R9. Rendimiento aceite= $-3430,0125 + 19,0545 \cdot x - 0,0177 \cdot x^2$ ($R=0,916$; $P=0,004$, $n=9$). Los valores para Charata y Huinca Renanco no fueron incluidas en el modelo. Los símbolos indican el valor medio de la localidad y su desvío estándar calculado utilizando el rendimiento medio de los Genotipos.

Los valores medios de eficiencia del uso del agua encontrados en este estudio son semejantes a los reportados por Andrade y Sadras (2000) y por Goksoy *et al.* (2004), aproximadamente de $7,5 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1}$ y levemente inferiores a los estimados por (Grassini *et al.*, 2009), los cuales reportan, como valor máximo, un valor de $8 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1}$.

En la Figura 3.1 se observa que dos localidades, Charata y Huinca Renanco, se encontraron afuera de la tendencia general. La EUA es un buen indicador del grado de aprovechamiento de los recursos disponibles por parte del cultivo. En estas localidades la EUA fue significativamente menor, $4,88 \pm 0,55 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1}$ a la encontrada en los otros dos grupos, señalando que otros factores serían los limitantes del rendimiento (Grassini *et al.*, 2009). Por consiguiente ambas localidades no fueron incluidas en los análisis posteriores, para esta agrupación.

Un método alternativo para estudiar la eficiencia del uso del agua por los cultivos es utilizar el agua total disponible, estimada como la suma de las precipitaciones totales durante el ciclo de cultivo más el agua útil inicial, en lugar de la evapotranspiración del cultivo (ETC). La eficiencia del uso del agua en función del agua útil total disponible, método al cual denominaremos EUA-PP ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$) sería igual:

$$\text{EUA} - \text{PP} (\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}) = \frac{\text{Rendimiento} (\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1})}{\text{agua total disponible} (\text{mm})}$$

En el presente trabajo, al comparar ambos métodos, se observó que los valores de EUA fueron significativamente superiores ($p=0,0034$) a los obtenidos en función de la relación rendimiento por agua total disponible (EUA-PP) (Tabla A3.4). Esta menor eficiencia es consistente con lo considerado en la bibliografía (Hatfield *et al.*, 2001) y puede ser atribuida a las diferentes condiciones del suelo, tales como tipo de labranza,

cobertura, rugosidad etc. No obstante lo anterior, el análisis de correlación fue altamente significativo ($R=0,886$; $p=0,0003$, $n=55$) por lo cual se podría indicar a la EUA-PP como un buen estimador de la EUA.

Al analizar la relación entre el rendimiento en aceite y la ETC durante todo el período de cultivo (EME-R9), se observó que se formaban dos grupos de respuestas (Figura 3.2) diferenciadas en sus ordenadas al origen ($p<0,001$), pero semejantes en sus pendientes ($p>0,15$). Los modelos lineales generados para cada grupo de respuesta fueron altamente significativos ($p<0,001$).

El grupo de mayor ordenada al origen, que incluyó a las localidades de la zona SUR más Quemu Quemú, a igual ETC presentó mayor rendimiento en aceite con respecto al grupo de menor ordenada al origen, que incluyó a las restantes localidades del OESTE y NEA (Tabla 2.2). Esta diferencia de rendimiento en aceite a igual evapotranspiración del cultivo, entre los dos grupos identificados anteriormente, podría estar relacionada al mayor CQ y a la menor temperatura observada en el grupo con mayor ordenada al origen (Tabla A3.5), lo cual sería explicado por la ubicación geográfica de este conjunto de localidades. El mayor contenido de materia orgánica está relacionado directamente al tipo de suelos en cada región, estaría influyendo sobre la capacidad de almacenaje de agua de los suelos y su disponibilidad (El-Zaher *et al.*, 2004). En general se considera que los suelos con mayores contenidos de arcillas o limos poseen mayor porcentaje de materia orgánica que los suelos con textura más gruesa. La capacidad de retención de agua del humus en relación con su masa (no en relación con su volumen) es cuatro a cinco veces la de las arcillas silicatadas (Brady y Weil, 1996; Conti, 2000).

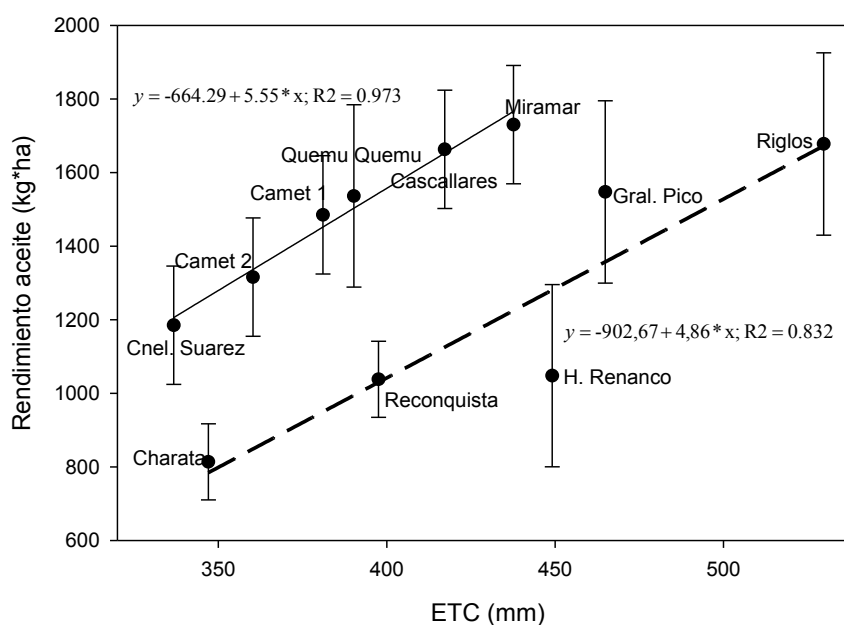


Figura 3.2: Relación entre rendimiento de aceite y evapotranspiración del cultivo (ETC (mm)). Los símbolos indican el valor medio de cada localidad y su desvío estándar calculado utilizando el rendimiento medio de los Genotipos. La Línea continua corresponde a localidades de la zona SUR más Quemu Quemú, la línea punteada corresponde a las localidades de las zonas OESTE y NEA.

El efecto del nitrógeno sobre el crecimiento y el desarrollo del cultivo de girasol es bien conocido (Andrade y Sadras (2000); Scheiner *et al.* (2002); Abbadi *et al.* (2008);

Skarpa y Losak (2008)); aunque hay situaciones en los cuales estos efectos no fueron observados (Olalde Gutierrez *et al.*, 2000). La relación entre el rendimiento medio de cada localidad y el nitrógeno inicial disponible se ajustó a una función cuadrática, altamente significativa, que explicó una alta proporción de la variabilidad total ($R=0,917$, $p<0,0001$, $n=8$, Figura 3.3), permitiendo además identificar Ambientes en los cuales otros factores ambientales fueron los limitantes del rendimiento.

El análisis de clasificación, realizado considerando la variación conjunta de rendimiento en aceite y nitrógeno inicial disponible (Figura A 3.4), agrupó a las localidades en 4 grupos, los cuales están descriptos en la (Tabla A3.6).

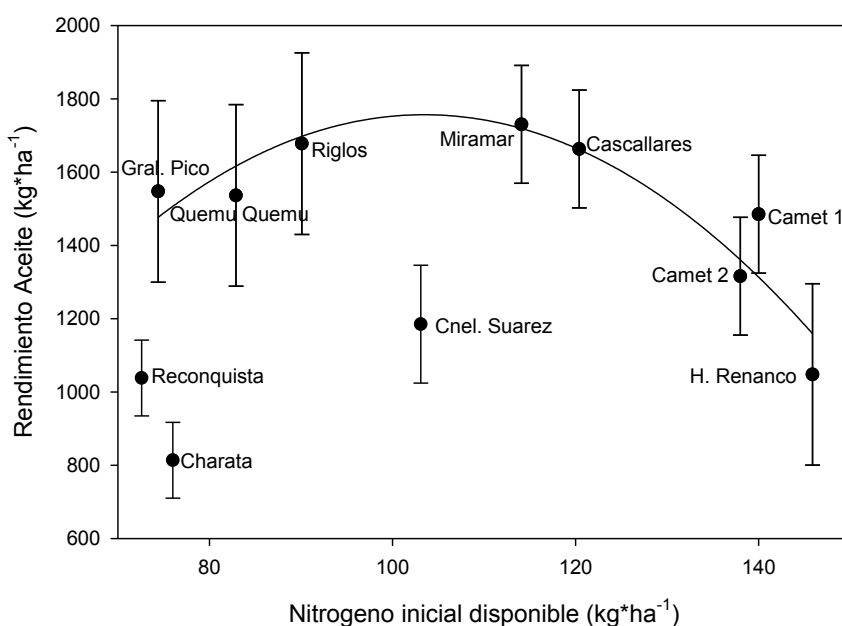


Figura 3.3: Relación rendimiento en aceite y nitrógeno inicial disponible (x). $Y = -1795,8534 + 68,6710 * x + -0,3319 * x^2$ ($R = 0,9577$, $p < 0,0001$, $n = 8$). Las 3 localidades/Ambientes fuera de la curva no fueron incluidas en el cálculo de la regresión por ser otros los factores que afectaron el rendimiento. Los símbolos indican el valor medio de cada localidad y su desvío estándar calculado utilizando el rendimiento medio de los Genotipos..

Los bajos valores de rendimiento, relacionados a bajos valores de la eficiencia del uso del nitrógeno (EUN), observados en el grupo en los cuales otros factores ambientales diferentes al nitrógeno presentaron mayor incidencia sobre el rendimiento, denominado “otros factores”, pueden ser explicados por la combinación de altas temperaturas mínimas con menor disponibilidad de agua durante el ciclo de cultivo, respecto al grupo de bajo N, con el cual no difiere en el contenido de N. (Tabla A3.6). El grupo “otros factores” presentó además, una mayor senescencia de las hojas en R7.

El grupo denominado óptimo, presentó los máximos rendimientos observados, con valores de nitrógeno inicial disponible, suelo más fertilizante, de aproximadamente $117 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, sin diferencias significativas de rendimiento con el grupo de bajo N.

Al comparar los grupos alto N y óptimo, se observó que el grupo alto N presentó un menor rendimiento en aceite, relacionado a un menor peso de granos. Ninguna de las características ambientales evaluadas, excepto el N, presentaron diferencias

significativas entre estos dos grupos. Al observar con detalle las características climáticas de las localidades que son incluidas en cada grupo se observó que Camet 1 y 2 fueron las localidades con los mayores valores observados de HR durante el ciclo y que Huinca Renanco fue la localidad con mayor precipitación total (Tabla 2.5). Estas dos características, en la etapa EME-R9 estuvieron correlacionadas ($R=0,578$, $p<0,0001$, $n=55$). Las observaciones realizadas sobre el cultivo revelaron que el Ambiente de alto N presentaba en R5.5 un mayor número de hojas activas (+2) con respecto al grupo óptimo. En R7 esta relación se invirtió, observándose un 30% de hojas activas, con respecto a R5.5, en el grupo alto N versus un 65% en el grupo óptimo, lo que implicó que el grupo alto N presente 3,5 hojas menos que el grupo óptimo; indicando un proceso de senescencia de hojas más acelerado, posiblemente por incidencias de enfermedades al encontrar un Ambiente de mayor humedad (Tabla A3.6).

Un ensayo de respuesta a la fertilización nitrogenada realizado por el equipo de desarrollo de Monsanto Argentina (datos no mostrados), reveló una respuesta semejante a la observada anteriormente tanto al considerar el contenido inicial de nitrógeno en el suelo como al considerar el nitrógeno inicial disponible (nitrógeno inicial + fertilizante) (Figura 3.4). Lo cual implica que no es solamente el nitrógeno el que actúa, sino que es en conjunto con otros factores ambientales.

En la Figura 3.4a, se presentan los Ambientes con altos rendimientos, las curvas de regresión entre el rendimiento en aceite y el contenido de nitrógeno, revelan dos localidades que no manifestaron caída de rendimiento en función del contenido de nitrógeno, corresponden a localidades con menores precipitaciones (320 mm de lluvia) durante el ciclo de cultivo, si bien suficientes para generar buenos rendimientos, con respecto a las restantes localidades (398 mm de lluvia, promedio en el ciclo de cultivo).

En el grupo de menores rendimientos (Figura 3.4b) se pudieron distinguir dos situaciones:

1. Localidades extra NEA, donde el patrón de respuesta fue semejante al observado en los Ambientes de alto rendimiento, disminución del rendimiento en aceite al aumentar el nitrógeno en suelo, aunque el ajuste de la ecuación no fue significativo, posiblemente debido al mayor desvío de los datos, situación común en Ambientes con estrés
2. Localidades del NEA, donde no se identificó un patrón de respuesta del rendimiento en aceite ante cambios en el contenido de nitrógeno del suelo. Una posible explicación radica en el nivel inicial de N; los valores observados, sin fertilizante, son menores a 60 kg.ha^{-1} ; encontrándose dentro del rango en el cual no se observó efecto negativo sobre el rendimiento.

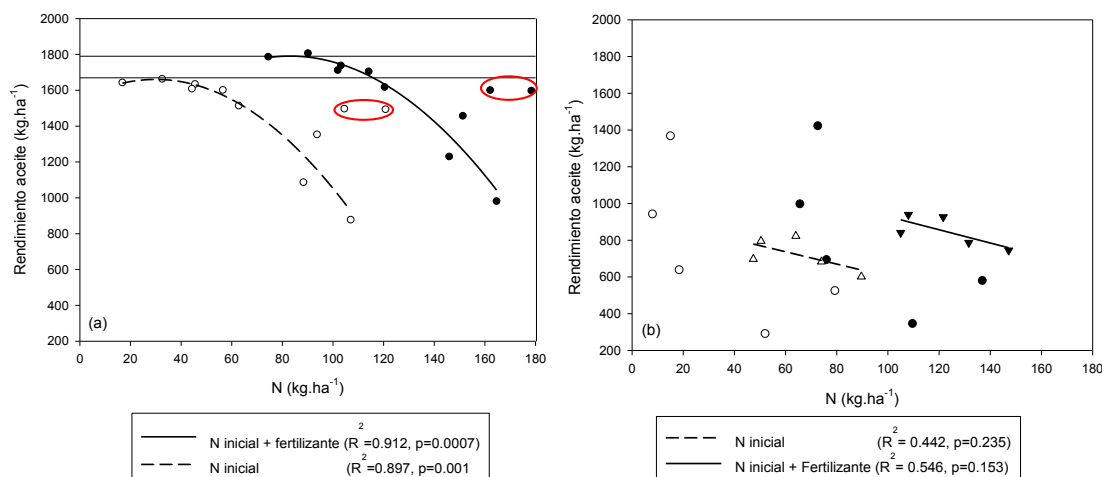


Figura 3.4: Relación entre el rendimiento en aceite y el nitrógeno inicial disponible para el cultivo. (a) Ambientes de altos rendimientos: ○ nitrógeno inicial en el suelo, ● nitrógeno inicial + fertilizante; se resaltan las localidades de Cascallares 2005 y Necochea 2006. (b) Ambientes de menores rendimientos: △ nitrógeno inicial en el suelo, ▼ nitrógeno inicial + fertilizante, ○ Zona NEA, nitrógeno inicial en el suelo, ● zona NEA, nitrógeno inicial + fertilizante. Las regresiones en gráfico (b) no incluyen al NEA.

Trabajos anteriores demostraron que condiciones que favorezcan un índice foliar alto, como altas disponibilidades de N (Debaeke *et al.*, 1998; Debaeke y Pérès, 2003; Nasim *et al.*, 2012), van a favorecer condiciones de humedad relativa dentro de la canopia propicias para el desarrollo de enfermedades del girasol (Delos y Moinard, 1997), aumentando la susceptibilidad del cultivo a las enfermedades, lo cual se manifiesta en una tasa de senescencia superior (Seassau *et al.*, 2010).

La fijación de carbono en las hojas durante el período de llenado juega un papel importante en el aporte de los asimilados que sirven como sustrato para la síntesis del aceite. Condiciones ambientales o de manejo que afecten la fijación de carbono durante el llenado pueden potencialmente afectar el peso de los achenios al reducir la tasa de llenado (Andrade y Ferreiro, 1996; Dosio *et al.*, 2000). El proceso descrito podría ser la causa de la disminución del rendimiento en aceite observado en el grupo de alto N con respecto al grupo óptimo al observarse que el grupo alto N presentó, también, un menor peso de achenios (Tabla A3.6). Resultados semejantes, en cuanto al efecto del área foliar activa sobre el peso de los achenios fueron reportados por Ruiz y Maddonni (2006) y Rauf (2008).

La agrupación de Ambientes en función de la variación conjunta del índice de productividad, agua útil disponible y nitrógeno inicial disponible fue considerada en base a los antecedentes bibliográficos ya discutidos en este capítulo. En este modelo no se pudo incluir a la temperatura. Su inclusión establecía que la configuración de los grupos quede semejante a la conformada en base a las zonas agroecológicas. Asimismo no se incluyó al PAR incidente por no observarse diferencia en esta variable entre los grupos generados, indicando una baja incidencia de la misma en la conformación de los grupos. El método de agrupamiento utilizado fue el de análisis de clasificación, por ordenamiento jerárquico, según el método de Ward, con datos estandarizados (Figura A 3.5).

Se formaron tres grupos, ordenados en función de su rendimiento medio (Tabla A3.7). El grupo denominado alto se diferenció del grupo denominado bajo por presentar valores superiores de rendimiento, tanto en achenios como de aceite, de número de

aquenios y de concentración de aceite, así como valores inferiores de peso de granos. Estas diferencias estuvieron relacionadas a una mayor disponibilidad de agua y ETC en el grupo alto (Tabla A3.7). El grupo medio fue agrupado, principalmente por el mayor contenido de nitrógeno de los Ambientes incluidos en él; con diferencias significativas, tanto en nitrógeno, el mayor contenido, como en EUN, con la menor eficiencia, respecto a los otros dos grupos. Estas condiciones se reflejaron en un menor peso de granos y un rendimiento intermedio. El grupo bajo combinó bajos contenidos de nitrógeno con baja disponibilidad de agua, diferenciándose por presentar el mayor peso de granos (Tabla A3.7).

C. Rendimiento y sus componentes

1. Descripción general.

La inspección visual de las unidades experimentales, durante la etapa de crecimiento y el recuento de plantas previo a la cosecha, a fin de cuantificar su uniformidad en distribución y cantidad, en cada una de ellas, no reveló situaciones en las cuales hubiere que descartar alguna unidad experimental. El valor máximo observado del desvío del número plantas con respecto a la población media fue del 17%.

El análisis de varianza del número de plantas, realizado en función de la agrupación de ambientes por zonas agroecológicas, explicó el 76% de la variabilidad total; las zonas agroecológicas explicaron el 31,1% de la suma de cuadrados y el Genotipo el 5% de la misma. La comparación de medias, del número de plantas, entre Genotipos no reveló diferencias significativas entre ellos. La comparación de medias, del número de plantas, por zonas agroecológicas mostró mayor densidad en la zona SUR, 4,8pl.m⁻² y zona OESTE con 4,7 pl.m⁻², con respecto a la zona NEA 3,4 pl.m⁻².

Los resultados anteriores indican que la estructura del cultivo, en los distintos Ambientes evaluados, fue equivalente entre los diferentes cultivares y de acuerdo a los manejos agronómicos comunes para cada zona, conformando una base segura para la realización de los análisis posteriores.

Los análisis de distribución de valores observados, realizados para las características de rendimiento, tanto de aceite como de aquenios, y para el número y peso de aquenios demostraron que los valores de cada una de estas características se ajustaron a la curva de distribución normal. El rendimiento medio en aceite fue de 1367 kg.ha⁻¹, con una mediana de 1352 kg.ha⁻¹, el valor máximo observado fue de 1955 kg.ha⁻¹ y el mínimo de 665 kg.ha⁻¹. El peso de 1000 aquenios presentó un valor medio de 52,66g, con un valor máximo de 75,75g y un valor mínimo de 39,98g. El número de granos por unidad de superficie promedio fue de 5489 granos.m⁻², con un valor máximo de 8512 granos.m⁻² y mínimo de 2408 granos.m⁻². En el Anexo I, Tabla A3.1 se presenta una tabla descriptiva con los valores medios, mínimos, máximos, desvío estándar y mediana para cada una de las variables analizadas.

2. Contribución relativa de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E

a) Rendimiento en grano y en aceite

Los modelos de análisis de varianza, considerando los efectos de Agrupación de ambientes (E), Genotipos (G), localidades dentro de la agrupación de Ambientes y la interacción G×E correspondientes a los valores de rendimiento, tanto en aceite como en aquenios fueron altamente significativos ($P < 0,0001$); explicando una proporción de la variabilidad total superior al 90% (Tabla 3.1). Al haberse encontrado una alta relación entre rendimiento en aceite y en aquenios ($\text{Rendimiento en aceite} = -199,411 \pm 53,87 + 0,557 \pm 0,019 \times \text{rendimiento granos}$; $R = 0,991$, $p < 0,0001$, $n = 55$), que el rendimiento en aceite presentó una mayor incidencia del Genotipo (20%) sobre la variabilidad total que la observada para rendimiento en aquenios (11%) (Tabla 3.1) y teniendo en cuenta que el objetivo de esta tesis está relacionado al efecto de las características del Ambiente sobre las características que determinan la calidad de granos y del aceite de girasol, se seleccionó al rendimiento en aceite como la variable a utilizar en los análisis siguientes.

Tabla 3.1: Análisis de la varianza para rendimiento en aceite y en achenios, para peso y número de granos en función de los diferentes Genotipos y de las agrupaciones de Ambientes. Todos los modelos fueron altamente significativos ($p < 0,0001$). * Diferencias significativas ($p < 0,05$). Valores seguidos de letras diferentes dentro de la misma columna y agrupación, difieren estadísticamente ($p < 0,05$). Loc = Localidades (repeticiones) efecto anidado en cada grupo. Consultar índice de abreviaturas en la página xviii para el significado de aquellas utilizadas en esta tabla.

		rendimiento aquerios (kg.ha ⁻¹)		rendimiento aceite (kg.ha ⁻¹)		peso de mil granos (gr)		número de granos por m ²		número de granos por planta	
R2		0,959		0,961		0,923		0,952		0,792	
Suma de cuadrados totales		20408363		6688495		3844		116089081		4919985	
Genotipo		% variabilidad explicada por genotipo									
		11%	*	20%	*	14%	*	7%	*	8%	*
		Valores medios estimados									
	DK3820	2770	A	1437	A	55,03	B	5121	B	1141	B
	DK3880	2396	B	1086	C	50,02	C	4904	BC	1140	B
	DK3920	2899	A	1436	A	53,70	B	5648	A	1331	A
	DK4000	2505	B	1143	C	55,40	B	4730	C	1086	B
DK4200	2769	A	1321	B	60,37	A	4766	BC	1201	AB	
Agrupaciones	Efectos Principales/Clústeres										
Zonas Agroecológicas		% variabilidad explicada por cada efecto principal									
	Ambiente	35%	*	36%	*	54%	*	66%	*	33%	*
	Loc (ambiente)	47%		37%		21%		20%		34%	
	Ambiente x Genotipo	2%	*	3%	*	4%		2%		5%	
		Valores medios estimados									
	NEA	2060	B	926	B	63,17	A	3282	C	991	B
	OESTE	2894	AB	1452	A	54,79	A	5285	B	1134	AB
SUR	3049	A	1476	A	46,75	B	6534	A	1414	A	
Productividad media		% variabilidad explicada por cada efecto principal									
	Ambiente	75%	*	65%	*	33%	*	71%	*	20%	*
	Loc (ambiente)	8%		7%		42%		15%		46%	
	Ambiente x Genotipo	2%		3%	*	3%		3%	*	6%	
		Valores medios estimados									
	Alto	3257	A	1610	A	52,11	AB	6335	A	1345	A
	Medio	2644	B	1244	B	44,70	B	5922	A	1211	A
Bajo	2038	C	963	C	59,07	A	3508	B	1033	A	
Agua total disponible		% variabilidad explicada por cada efecto principal									
	Ambiente	56%	*	50%	*	5%		36%		14%	
	Loc (ambiente)	10%		7%		77%		43%		48%	
	Ambiente x Genotipo	2%		3%		3%		4%		8%	
		Valores medios estimados									
	Alto	3314	A	1660	A	52,01	A	6389	A	1240	A
	Medio	3031	A	1445	B	50,18	A	6196	A	1440	A
menor	2389	B	1109	C	55,12	A	4580	A	1178	A	
Evapo- transpiración del cultivo		% variabilidad explicada por cada efecto principal									
	Ambiente	20%		23%		9%		5%		27%	
	Loc (ambiente)	63%		50%		66%		81%		39%	
	Ambiente x Genotipo	1%		2%		2%		1%		5%	
		Valores medios estimados									
	Alto	2971	A	1502	A	51,73	A	5755	A	1144	A
	Medio	2987	A	1433	A	55,83	A	5600	A	1439	A
Bajo	2370	A	1100	A	49,66	A	4985	A	1086	A	
Nitrogeno disponible		% variabilidad explicada por cada efecto principal									
	Ambiente	38%		36%	*	41%	*	14%		19%	
	Loc (ambiente)	32%		17%		27%		60%		48%	
	Ambiente x Genotipo	5%	*	6%	*	2%		4%		4%	
		Valores medios estimados									
	Optimo	3426	A	1703	A	50,82	AB	6765	A	1429	A
	Alto	2636	A	1278	B	46,50	B	5798	A	1373	A
bajo	3195	A	1591	AB	56,10	A	5726	A	1140	A	
Rendimiento medio, agua útil disponible y nitrógeno inicial disponible.		% variabilidad explicada por cada efecto principal									
	Ambiente	40%	*	43%	*	29%		37%	*	10%	
	Loc (ambiente)	42%		30%		46%		49%		56%	
	Ambiente x Genotipo	1%		2%		2%		2%		5%	
		Valores medios estimados									
	Alto	3314	A	1660	A	52,01	A	6389	A	1240	A
	Medio	2636	AB	1278	AB	46,50	A	5798	AB	1373	A
Baio	2444	B	1142	B	57,93	A	4357	B	1128	A	

La contribución relativa del Genotipo a la variabilidad total estimada por el análisis de regresión multivariada, presentó su máximo valor en la etapa R1-R5 (25,4%) y el menor en R5+100°Cd (21,9%), el valor del ciclo EME-R9 fue del 20,96% (Tabla 3.2), valor semejante al observado a través del análisis de varianza (Tabla 3.1). La contribución relativa del Ambiente a la variabilidad total, estimada por el método de análisis de regresión multivariada, presentó el máximo valor al considerar el período completo de cultivo EME-R9 (67,1%). La contribución del Ambiente obtenida por el análisis de varianza, fue del 72%.

Tabla 3. 2: Contribución relativa del Genotipo, de las características ambientales evaluadas y de sus interacciones a la variabilidad total del rendimiento en aceite en función de las diferentes fases ontogénicas estudiadas, determinada por el método de análisis de regresión multivariada. % SC modelo: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales explicado por el modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación directa (+) o inversa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Consultar índice de abreviaturas en la página xviii para el significado de las otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Rendimiento en aceite (kg.ha ⁻¹)											
Etapas	Efecto Principal	%SC Modelo	Genotipo	T °C min	PAR (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)	HR (%)	Agua Útil Disponible (mm)	Genotipo×T °C min	Genotipo×PAR	Genotipo×HR	Genotipo× Agua Útil Disponible (mm)
EME-R9	Efecto			-	+	-	+				
	% SC Prob F>	90,02	20,96	43,04	12,28	4,83	7,01	0,56	0,14	0,59	0,61
R1-R5	Efecto			-	+	-	+				
	% SC Prob F>	88,29	25,41	16,35	15,75	10,02	17,50	0,54	0,43	1,01	1,27
R5-15+20	Efecto			-	+	-	+				
	% SC Prob F>	80,81	22,47	41,20	5,92	0,22	7,89	0,97	0,20	1,40	0,54
R5+100	Efecto			-	+	-	+				
	% SC Prob F>	84,89	21,28	37,92	1,10	2,55	18,16	0,89	1,14	1,77	0,08
R5 200	Efecto			-	+	-	+				
	% SC Prob F>	80,15	22,08	44,20	0,56	0,25	10,05	0,39	0,92	1,47	0,21

En las agrupaciones de localidades generadas en función de los criterios de productividad media, zonas agroecológicas y contenido inicial de nitrógeno se observó interacción significativa de Genotipo por Ambiente para rendimiento en aceite (Tabla 3.1), con un efecto sobre la variabilidad total igual o inferior a 6%. Estos valores son inferiores al valor correspondiente al Genotipo (20% de la SC), por lo cual su incidencia no sería significativa (Crossa, 1990); no obstante esto, el análisis de la interacción fue realizado a efectos de identificar los materiales que presentan respuestas diferenciales para cada una de las agrupaciones de Ambientes.

En la agrupación de Ambientes definida por el criterio de productividad media se observó que la interacción fue generada por DK3880, el cual en los Ambientes de alta productividad presentó un rendimiento inferior a DK4000 (Figura A3.6), con un número de aquenios similar pero de menor peso. Al incrementarse el nivel de estrés se observó que DK3880 presentó una mayor capacidad de mantener número de aquenios con respecto a DK4000, lo cual se tradujo en un rendimiento semejante en ambos cultivos. La magnitud de la característica de DK3880 de mantener un alto número de aquenios en condiciones de estrés, si bien no le permitió presentar los máximos rendimientos, lo asemejó competitivamente con otros dos cultivos, con los cuales presentaba rendimientos inferiores en Ambientes de alto potencial. (Tabla 3.1) y Figura A3.6).

Al considerar la agrupación definida por el criterio de zonas agroecológicas se observó que DK3880 no presentó adaptación a la zona OESTE, es la única zona donde presentó un rendimiento inferior a DK4000 (Figura A3.7). El cultivar DK4200 presentó menor rendimiento que el DK3920 en la zona SUR.

La interacción G×E observada en la agrupación de Ambientes definida en función del nitrógeno inicial disponible y del rendimiento puede ser explicada en base a la respuesta de dos cultivos: a) DK4200 rindió significativamente menos que los híbridos de mayor rendimiento en los Ambientes de alto contenido de N y no presentó diferencias significativas con los mismos en los otros Ambientes, sin observarse cambios en el posicionamiento relativo de los Genotipos; b) DK3880 presentó una susceptibilidad superior a la disminución del nivel de N disponible que los otros cultivos, al pasar de Ambientes de óptimo contenido de nitrógeno a bajos contenidos

iniciales, Ambiente en el cual se diferenció significativamente de DK4000 (Figura A3.8).

La agrupación de Ambientes en función del criterio de las características de productividad total, agua disponible y nitrógeno no presentó interacción Genotipo por Ambiente significativa para rendimiento en aceite (Tabla 3.1).

El análisis de regresión multivariada no presentó interacción significativa del Genotipo con ninguna de las características ambientales incluidas en el modelo (Tabla 3.2).

b) Número de granos

El modelo de análisis de varianza para número de granos por unidad de superficie explicó el 95.2% de la variabilidad total, siendo la contribución relativa del Genotipo a la misma del 7% (Tabla 3.1). El análisis de regresión multivariada por fase de desarrollo mostró que la contribución relativa del Genotipo a la varianza total fue máxima para la fase R1-R5 (12,3%) (Tabla A3.8). La contribución relativa del Ambiente a la variabilidad total fue del 86% (Tabla 3.1). El análisis de regresión multivariada por fase de desarrollo presentó valores de 82,7% para la etapa EME-R9 (Tabla A3.8). No se observaron interacciones significativas Genotipo por Ambiente para número de granos en ninguna de las agrupaciones de Ambientes definidas con diversos criterios evaluadas con el análisis de varianza (Tabla 3.1), ni entre Genotipo y las características de clima por etapas de desarrollo incluidas en el modelo de análisis multivariado (Tabla A3.8).

c) Peso de 1000 granos

El modelo de análisis de varianza para peso de granos explicó el 92.3% de la variabilidad total, siendo la contribución relativa del Genotipo a la misma del 14 % (Tabla 3.1). El análisis de regresión multivariada para la asociación entre esta variable y las condiciones ambientales en las diversas etapas de desarrollo evaluadas indicó que la contribución relativa del Genotipo a la varianza total fue, para la fase EME-R9, del 19.9% de la suma de cuadrados totales (Tabla A3.9).

La contribución relativa del Ambiente a la variabilidad total fue del 75% (Tabla 3.1). El análisis de regresión multivariada por fase de desarrollo presentó que la fase de mayor contribución relativa del Ambiente fue R1-R5 (76,7% de la SC) (Tabla A3.9).

No se observaron interacciones significativas Genotipo por Ambiente para peso de granos en ninguna de las agrupaciones de Ambientes definidas con diversos criterios evaluadas con el análisis de varianza (Tabla 3.1), ni entre Genotipo y las características de clima por etapa de desarrollo incluidas en el modelo de análisis multivariado (Tabla A3.9).

d) Conclusiones parciales

Los resultados descritos, para rendimiento en aceite, peso y número de achenios, revelaron una mayor contribución relativa del Ambiente en todas las fases ontogénicas, con respecto al Genotipo, resultados que concuerdan con lo reportado por de la Vega *et al.* (2002), y por Balalić *et al.* (2012), los cuales refieren una mayor influencia del Ambiente sobre la variabilidad total que el Genotipo.

El análisis de la varianza demostró interacción significativa G×E al considerar las diferentes agrupaciones de Ambientes generadas. La contribución de la interacción sobre la variabilidad total fue menor a la correspondiente al Genotipo. Estos resultados difieren de lo reportado en la bibliografía, los cuales en general sugieren que una parte importante de la variabilidad total es debida al efecto de la interacción (de La Vega, 2009; de la Vega y Hall, 2002a; de la Vega y Hall, 2002b).

En función del análisis de comparación de medias como de la interacción Genotipo por Ambiente observada para rendimiento en aceite, los cultivares incluidos pueden ser clasificados de la siguiente manera:

1. DK3820 y DK3920 fueron los cultivares de mayor rendimiento en aceite y/o granos, a través de todas las combinaciones de Ambientes evaluadas, sin diferencias entre ellos en peso de mil granos.
2. DK4200, ubicado dentro del rango medio de rendimiento, excepto en los Ambientes de alto N, donde no se diferenció de los híbridos de menor rendimiento en aceite; no se observó un cambio relativo en la posición, si en la magnitud y consistencia de la diferencia. Fue el híbrido con mayor peso de granos del conjunto estudiado en este ensayo.
3. DK4000 y DK3880 están ubicados dentro del rango de híbridos de menor rendimiento. DK 4000 se diferenció del grupo de alto rendimiento por fijar un menor número de granos, pero con un peso de granos semejante. DK3880, limitado en rendimiento por peso de achenios, presentó una mayor capacidad de mantener el número de achenios en Ambiente con estrés.

La agrupación de ambientes por el contenido de agua útil, no presento capacidad discriminatória entre los grupos formados, para número y peso de granos, ni para número de granos por planta, además para rendimiento en grano, solamente se observó diferencias entre el de menor contenido, localidades del NEA, con el resto (Tabla 3.1). El análisis del resto de las agrupaciones de Ambientes según los criterios de evapotranspiración del cultivo, agua total disponible y rendimiento medio, agua útil y nitrógeno inicial (punto B de este Capítulo), demostró que una parte elevada de la variabilidad era explicada por las localidades dentro de cada grupo, indicando que otros factores fueron los que primaron en la determinación de las características a analizar dentro de cada grupo (Tabla 3.1). Asimismo estos grupos presentaron una baja capacidad discriminatória para las características de aptitud al descascarado de los granos, la composición ácida, los contenidos de ceras, tocoferoles y fosfolípidos y la estabilidad oxidativa de sus aceites (resultados no mostrados). Por lo expuesto las agrupaciones de Ambientes generadas por los criterios señalados no serán incluidas en los análisis posteriores.

En función de estos resultados se continuó trabajando con 3 agrupaciones de Ambientes generadas en función de los criterios de: 1) la agrupación por zona agroecológica, 2) por productividad media y 3) por contenido inicial de nitrógeno en el suelo (Tabla 3.3). Estas agrupaciones fueron utilizadas para evaluar el efecto de las características ambientales sobre los diferentes parámetros de calidad estudiados.

Tabla 3.3: Listado de las localidades pertenecientes a las agrupaciones de Ambiente generados en función de cada uno de los criterios de Zonas agroecológicas, Productividad media y Nitrógeno inicial disponible

localidad	zona Agroecológica	Productividad media	Nitrógeno inicial
Charata	NEA	bajo	Otros factores
Reconquista	NEA	bajo	Otros factores
Quemu Quemu	oeste	alto	bajos
H.Renanco	oeste	bajo	altos
Pico	oeste	alto	bajos
Riglos	oeste	alto	bajos
Cnel. Suarez	sur	medio	Otros factores
Camet 2	sur	medio	altos
Camet 1	sur	alto	altos
Miramar	sur	alto	óptimos
Cascallares	sur	alto	óptimos

3. Determinación de la fase ontogénica de máxima respuesta al efecto combinado de factores ambientales.

a) Selección de características ambientales a incluir en los modelos de regresión multivariada

Una forma de analizar la respuesta del cultivo, a través de sus distintas etapas de desarrollo, al efecto combinado de diferentes factores ambientales es utilizar el método de análisis de la regresión multivariada, lo cual permite identificar tanto las variables de mayor efecto como el momento fenológico de mayor sensibilidad.

La selección de características ambientales a incluir en los modelos de análisis de las características de calidad de aceite y granos de girasol se realizó utilizando la plataforma de “Stepwise regresión” incluida en el programa JMP (SAS Institute Inc. 2012); resultando seleccionadas temperatura mínima, PAR, humedad relativa y agua útil disponible. La combinación de este conjunto de características ambientales fue la que explicó en mayor medida la variabilidad total en los diferentes análisis realizados, tanto para rendimiento y sus componentes como para las características de calidad de aceite y granos.

Las restantes características analizadas (temperaturas media y máxima, CQ, DPV, ETC, PVS, % de agua útil, precipitaciones, nitrógeno y materia orgánica), no pudieron ser incluidas en los análisis de regresión multivariada, al mismo tiempo, por presentar colinealidad con las características seleccionadas, incrementando los valores del factor de inflación de la varianza (VIF) a niveles superiores a 2,5, valor determinado previamente, como máximo tolerado (Craney y Surles, 2002).

b) Determinación de la fase ontogénica de máxima respuesta.

Al haberse definido al período crítico como la etapa fenológica en la cual los factores del Ambiente actúan sobre las características de calidad en una magnitud superior a la observada considerando su efecto en el período completo de cultivo (EME-R9) (Capítulo 1, A 2) y que la etapa de cultivo EME-R9 fue la que explicó en mayor proporción la variabilidad total para rendimiento en aceite y para número de granos ($R^2 > 0,9$, $p < 0,0001$), no fue posible identificar un período crítico para estas características (Tablas 3.2 – A3.8).

El momento próximo a la floración, comprendido entre los 15 días anteriores a R5.5 y los 20 días posteriores (R5-15+20) es ampliamente considerado por la bibliografía como el de mayor importancia para la determinación del rendimiento (Cantagallo *et al.*, 1997; Cantagallo y Hall, 2002; Cantagallo *et al.*, 2004); este período explicó con alta consistencia la variabilidad total de los datos, 80,8% de la SC para rendimiento en aceite y 87,4% de la SC para el número de granos.

Al investigar cual es la etapa fenológica de mayor respuesta del peso de achenios a las condiciones ambientales se identificaron dos momentos. El primero fue el período de R1-R5 ($R=0,958$, $p<0,0001$, $n=55$) (Tabla A3.9), momento en el cual se produce la determinación del número de granos y el peso potencial de los mismos (Aguirrezabal *et al.*, 2003; Lindstrom *et al.*, 2006; Rondanini *et al.*, 2009). Esto puede ser explicado por el hecho que el peso de los achenios no depende solamente de la fuente de asimilados sino también del número de achenios por planta (Echarte *et al.*, 2012; Ruiz y Maddonni, 2006). Apoyando lo anterior, se encontró una relación inversa, altamente significativa, entre el número de achenios con el peso de los mismos ($PG=73,19\pm3,27 - 0.0037\pm0.00057\times NG$; $R=-0,66$, $p<0,0001$, $n=55$). La segunda etapa de mayor incidencia sobre el peso de achenios fue R5+250-450°Cd; que explicó el 79,5% de la variabilidad total (Tabla 3.9). Este período también fue identificado como crítico para la determinación del peso de achenios por (Aguirrezabal *et al.*, 2003) trabajando con fechas de siembra y sombreado en diferentes momentos.

4. Efecto de los factores ambientales sobre el rendimiento en aceite y sobre el número y peso de achenios.

La temperatura fue el factor ambiental con mayor efecto sobre el rendimiento en aceite y sobre el número de achenios (Tabla 3.2 – A3.8); su incidencia fue superior sobre el número de granos, explicando más del 55% de su variabilidad total.

Al comparar el efecto de las diferentes evaluaciones de temperatura se observó que la temperatura máxima no presentó correlación significativa con el rendimiento, con la excepción del período R1-R5 ($R=0,632$, $p=0,03$, $N=11$), ni con número de achenios, con la excepción del período R5+250-450°Cd ($R=-0,90$, $p=0,0002$, $n=11$). Los efectos de la temperatura mínimas y medias sobre el rendimiento y sus componentes fueron semejantes, aunque la temperatura mínima reveló valores superiores del coeficiente de correlación de Pearson, explicando, también, un mayor porcentaje de la variabilidad total en los diferentes modelos analizados. En el Anexo I, Tabla A3.10 se presentan los resultados de los análisis de correlación entre rendimiento en grano con las características ambientales detalladas y en la Tabla A3.11 se presenta la matriz de correlación entre las características ambientales, que permiten analizar en detalle estas relaciones.

La relación negativa entre número de granos y temperatura mínima se expresó en todas las etapas fenológicas estudiadas. Las etapas de mayor respuesta fueron las iniciales para la fijación del número potencial de granos (R1-R5), donde la T°C min explicó el 51,3% de la SC, y el período temprano de fijación de granos R5+100°Cd, en la que explicó el 59,7% de la SC. El efecto de la temperatura, en estas etapas tempranas del desarrollo de los granos se ejercería disminuyendo el número de achenios. La relación inversa, altamente significativa, encontrada entre T°C min R5+100°Cd con el número de granos por planta ($R=-0,579$, $p<0,0001$, $n=55$), soporta lo detallado anteriormente.

El peso de granos mostró una relación directa con la temperatura. Esta variable explicó una menor proporción de la SC que la observada para número de granos (comparar Tabla A3.8 y Tabla A3.9). Los momentos de mayor respuesta a la temperatura coinciden con los observados para número de granos, por lo cual es de suponer que al disminuir el número de granos se alteró la relación fuente destino, permitiendo de esa manera que los aquenios presenten un mayor peso. La correlación entre peso de granos y número de granos por planta, significativa ($p=0,0002$) aunque con un coeficiente de significación bajo ($R^2=0,232$), apoyó esta suposición. Estos resultados son coincidentes con lo citados por la bibliografía (Rauf, 2008; Ruiz y Maddonni, 2006).

Los efectos integrados sobre el número y el peso de los granos de la temperatura explican los efectos observados de este factor sobre el rendimiento en aceite. El número de granos está inversamente relacionado con la temperatura, efecto ampliamente discutido en la bibliografía (Balalić *et al.*, 2012; Cantagallo *et al.*, 1997; Connor y Hall, 1997; Chimenti y Hall, 2001). Esta disminución, en parte, podría ser compensada por aumento en el peso de los grano (Rauf, 2008; Ruiz y Maddonni, 2006), sin llegar a evitar la caída en rendimiento.

El rendimiento y el número de granos revelaron un efecto directo de la radiación fotosintéticamente activa incidente (PAR), altamente significativo, en la etapa de R1-R5 (Tabla 3.1 y A3.8). Estos resultados son coincidentes con lo reportado en la bibliografía (Connor y Hall, 1997; Hall, 2004) en cuanto al efecto del PAR en etapas cercanas a floración.

Para la determinación del peso de granos, el PAR fue el factor de mayor importancia, con una incidencia relativa superior a la observada para rendimiento en aceite y número de aquenios (comparar Tabla A3.8 y Tabla A3.9), explicando el 24% de la SC en el período R1-R5 y el 30,1% en el período R5+250-450°Cd. Los resultados hallados reflejan lo discutido abundantemente por la bibliografía sobre este tema (Cantagallo *et al.*, 1997; Cantagallo y Hall, 2002; de la Vega y Hall, 2002a; Lindstrom *et al.*, 2006).

La relación directa encontrada entre el rendimiento en aceite y el agua útil disponible reflejó el efecto de este factor ambiental sobre el peso de los granos en la etapa R1-R5, posiblemente asociada a un mejor desarrollo vegetativo, fuente de fotosintatos, por una mejor disponibilidad hídrica, y sobre el número de aquenios en la etapa R5+100°Cd. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Mirshekari *et al.* (2012), Geetha *et al.* (2012) y Thomaz *et al.* (2012). Por otra parte en el período R5+250-450°Cd, la relación entre peso de granos y el agua útil disponible fue inversa (-12% de la SC), posiblemente ligado a la tasa de senescencia del cultivo por efecto de las enfermedades por mayor humedad dentro del cultivo (Seassau *et al.*, 2010).

El peso de granos presentó, en todas las etapas fenológicas evaluadas, una relación negativa con la humedad relativa (Tabla A3.9), presentándose éste como el factor ambiental con mayor contribución relativa a la SC en el período EME-R9 (32,3% de la SC). Esta incidencia negativa de la humedad relativa sobre el peso de los granos estaría relacionada a la formación de condiciones ambientales que favorecen el desarrollo de enfermedades, con la consiguiente pérdida de la capacidad de la planta de mantener área foliar fotosintéticamente activa (Debaeke y Pérès, 2003; Seassau *et al.*, 2010). Esta relación inversa, entre el área foliar activa y la HR, fue corroborada al encontrarse correlación negativa entre el porcentaje de hojas verdes en R7 y la HR, en

todas las etapas fenológicas correspondientes al período de llenado de granos (Tabla A3.12).

El número de aquenios mostró, en general, un efecto positivo de la humedad relativa, con mayor incidencia en el período crítico para la determinación de esta característica (+11,3% de la SC). El efecto de esta relación positiva sobre el NG no alcanzó a compensar la incidencia negativa observada en el peso de granos, traducándose en un efecto negativo sobre el rendimiento en aceite (comparar Tablas 3.2 – A3.8 – A3.9).

El rendimiento en aceite y el número de granos no presentaron efecto significativo del nitrógeno ($P > 0,05$). Se encontró una fuerte relación inversa del PG con el nitrógeno inicial ($R = -0,719$, $p < 0,0001$, $n = 11$), efecto que fue relacionado a condiciones de Ambiente en las cuales se favorece el desarrollo de un alto índice foliar; situación en la cual se generan Ambientes de alta humedad relativa propicias para el desarrollo de enfermedades en girasol que afectan el área fotosintéticamente activa.

El efecto observado del contenido de materia orgánica de los suelos, sobre el rendimiento en aceite y número de granos fue semejante al discutido para nitrógeno. Se observó una alta correlación entre ambas características ($R = 0,896$, $p < 0,0001$, $n = 11$). No obstante en los análisis realizados, el nitrógeno explicó, en general, un mayor porcentaje de la SC total.

El contenido de fósforo en el suelo no presentó correlación significativa con ninguna de las características de rendimiento y calidad evaluadas en este trabajo. La posible causa de esta respuesta radicaría en la estrategia de fertilización seleccionada, a efectos de cubrir las necesidades de este nutriente en todos los Ambientes evaluados. Tampoco se encontraron correlaciones significativas entre las restantes características de suelo (pH y densidad aparente) con ninguna de las características de rendimiento y calidad de granos y aceites evaluados en este trabajo.

En el Anexo I, Figura A 3.9 se presentan los diagramas de correlaciones simples y parciales contemplando las etapas fenológicas R1-R5 y R5+250-450°Cd, para peso de granos y porcentaje de aceite con los factores climáticos que presentaron efectos directos significativos sobre estas dos características.

La variación conjunta de las características de rendimiento en aceite, peso y número de granos con las variables climáticas, para las etapas identificadas como críticas, de PAR y temperatura mínima en las etapas R1-R5, R5+100°Cd y R5+250-450°Cd, agua útil disponible para la etapa R1-R5 y con el nitrógeno inicial en el suelo, puede ser observada en la Figura 3.5, realizada con el método de componentes principales realizada con el programa JMP (SAS Institute Inc. 2012), donde se logró captar el 72% de la variabilidad total de las 10 características incluidas en el análisis.

Los ángulos de los vectores indican alta relación entre las observaciones de temperatura en las diferentes etapas fenológicas incluidas (cuadrante II) y entre las observaciones de PAR, principalmente entre R1-R5 y R5+100°Cd (cuadrante I), así como una relación inversa entre agua útil disponible (cuadrante III) y PAR en la etapa R1-R5.

El componente principal 1 (CP1), explicó el 49,3% de la variabilidad total. Los ángulos entre los vectores indican que con valores positivos del CP1 el peso de granos

se relacionó positivamente con la temperatura y con el PAR incidente. Con valores negativos de CP1 el rendimiento en aceite y el número de granos se relacionaron positivamente con nitrógeno y agua útil disponible, y negativamente con temperatura. El componente principal 2 (CP2) explicó 23,1% de la variabilidad total, presentando valores significativos para el PAR incidente, con valores positivos del CP2 y para temperatura, con valores negativos de CP2 (Figura 3.5).

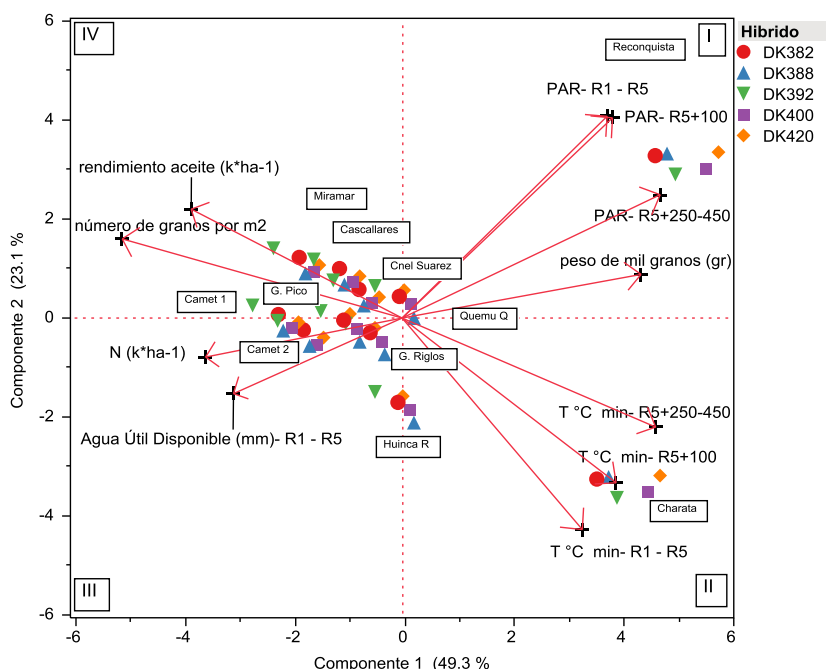


Figura 3.5: Relación entre las características de rendimiento en aceite, número y peso de granos con las variables ambientales, en las etapas fenológicas, que demostraron mayor efecto sobre esas características, representadas como vectores obtenidos por el análisis de componentes principales. Los símbolos llenos corresponden a los Genotipos, abiertos por localidad. La identificación de localidad es referencial y se indica mediante etiquetas rectangulares. Los dos componentes principales graficados capturaron el 72,4% de la variabilidad total.

Las localidades del NEA, se diferenciaron en el peso relativo de los factores ambientales, Reconquista, ubicada en el cuadrante I, presentó una mayor incidencia del PAR y Charata, ubicada en el cuadrante II, de la temperatura, no obstante en ambas localidades el efecto de estos factores ambientales fue significativo.

Las localidades ubicadas en el cuadrante III, si bien presentaron un alto número de granos, su rendimiento se vio limitado por el peso de los mismos. Este conjunto de localidades es el mismo que observamos en el grupo “alto N” (Tabla 3.3). La localidad Camet 2, sembrada en fecha tardía, presentó los menores valores de PAR incidente.

El conjunto de localidades que se encuentran sobre la línea de rendimiento en aceite, cuadrante IV, presentan una buena relación entre rendimiento y número de granos, incluyen a las localidades con mayor rendimiento; estas localidades presentaron valores inferiores de temperatura mínima en las etapas fenológicas R1-R5, R5+100°Cd.

Los factores limitantes para obtener mayor rendimiento en la localidad de Quemu Quemú, se encuentra en el centro del biplot, posiblemente sean el bajo contenido de nitrógeno inicial, conjuntamente con valores de temperatura relativamente superiores a las otras localidades de la zona oeste.

Las relaciones observadas pusieron de manifiesto el efecto inverso de las temperaturas, en el período de determinación y fijación, sobre el número de granos, y el

efecto directo del PAR sobre el peso de granos, principalmente en el período R5+250-450.

D. Conclusiones

En función de las características ambientales de productividad, suelo y clima, fueron seleccionadas 3 agrupaciones de localidades y se caracterizó la respuesta ante cambios en las condiciones de Ambiente de los cultivares evaluados.

Para el rendimiento en aceite, número y peso de granos se identificó al efecto Ambiente como el de mayor contribución relativa a la variabilidad total, seguido por el Genotipo. La interacción G×E, si bien fue significativa para rendimiento en aceite, su contribución fue menor a la del Genotipo.

El momento próximo a la floración, comprendido entre menos 15 días desde R5.5 a más 20 días, ampliamente considerado por la literatura como el período crítico, explicó con alta consistencia la variabilidad total del rendimiento en aceite y del número y peso de granos. Su apertura en diferentes etapas fenológicas permitió incrementar el nivel de ajuste de los modelos evaluados.

Si bien el modelo que consideró al ciclo completo de cultivo fue el que explicó una mayor proporción de la variabilidad total del número de granos (94,7% de la SC), se identificó a las etapas fenológicas R1-R5 y R5+100°Cd como las fases en las cuales se observaron los mayores efectos de la temperatura, con una relación inversa, y del PAR y del agua útil disponible, con una relación directa. La relación inversa entre temperatura y números de granos fue observada tanto cuando se consideró a granos por unidad de superficie como a la cantidad de granos por planta (datos no presentados).

Se identificaron dos etapas fenológicas en las cuales los factores ambientales presentaron una mayor incidencia sobre el peso de los granos: la etapa R1-R5 y la etapa R5+250-450°Cd. En la etapa R1-R5, se observó un efecto directo de la temperatura, relacionado a la disminución del número de granos, y del agua útil, relacionado a un mejor desarrollo vegetativo, mayor disponibilidad de fotosintatos, sobre el peso de los achenios. En la etapa R5+250-450°Cd el PAR fue el factor ambiental con mayor incidencia, directa, sobre el peso de granos, explicó el 30,1% de la SC. En esta etapa, la relación con el agua útil fue inversa, relacionada a una mayor senescencia de las hojas.

La humedad relativa presentó, en todas las etapas fenológicas evaluadas, relación inversa con el peso de granos, presentándose como el factor ambiental con mayor contribución relativa a la SC al considerar el período EME-R9 (32,3% de la SC). El efecto de la HR sobre el PG fue relacionado a una mayor senescencia de las hojas.

El modelo que contempló el período completo de cultivo fue el que explicó con mayor ajuste la variabilidad total del rendimiento en aceite (90% de la SC). Los efectos observados de los factores ambientales sobre peso y número de granos se tradujeron en una relación inversa del rendimiento en aceite con la temperatura y con la humedad relativa y directa con el agua útil disponible y con el PAR.

El nitrógeno reveló una fuerte relación inversa con PG, efecto que fue relacionado a condiciones que aceleran la senescencia foliar, sin relación significativa con rendimiento en aceite ni con número de grano.

Los resultados obtenidos en este apartado son la base para los análisis a realizar en los siguientes capítulos. Las tres agrupaciones de Ambientes seleccionadas son utilizadas para el análisis de la contribución relativa a la variabilidad total, por el método de análisis de varianza, del Genotipo, del Ambiente y de su interacción. Los factores ambientales seleccionados son incluidos en los análisis de regresión multivariada para el estudio del efecto conjunto de los mismos sobre las características de calidad, así como para la identificación de las etapas fenológicas de mayor respuesta a los mismos. En el capítulo siguiente, para el porcentaje y peso de la cáscara, y para la aptitud al descascarado además se realizan análisis de correlaciones simples y parciales, y análisis de partición recurrente y de regresiones, con el objetivo de identificar las relaciones entre estas características de calidad con factores fenotípicos y ambientales. .

Capítulo 4

PESO DE CÁSCARA Y APTITUD AL DESCASCARADO

Peso de cáscara y aptitud al descascarado

En el Capítulo 3, en función de las características ambientales de productividad, suelo y clima, se seleccionaron 3 agrupaciones de Ambientes y se clasificaron las respuestas de los cultivares como información de base para el análisis de las características de calidad de granos y aceite de girasol. En este capítulo se estudia, para el peso de cáscara y la aptitud al descascarado, la contribución relativa del Genotipo, del Ambiente y su interacción, se analizan diferentes etapas fenológicas con miras a identificar un período de máxima respuesta a las condiciones del Ambiente, así como estudiar su respuesta a la variación combinada de factores ambientales y su relación con rendimiento.

A. Introducción

Aptitud al descascarado es un término técnico que define cuan fácilmente puede ser removida la cáscara de girasol (Hernandez y Belles, 2007). Un descascarado deficiente implica pellets con menor concentración de proteínas en grano y mayor contenido de fibra, además de dificultar el proceso de extracción del aceite (Nel, 2001) y su refinamiento. Por otro lado, un descascarado completo de los frutos traería problemas desde el punto de vista industrial para la extracción de aceite (Dedio, 1982).

La aptitud al descascarado estaría influenciada mayormente por el Genotipo (Dedio, 1982; Di Leo *et al.*, 2004; Garcia Ruiz, 1994; Merrien *et al.*, 1992), expresado en características anatómicas del fruto (Beauguillaume y Cadeac, 1992; Denis y Vear, 1996; Garcia Ruiz, 1994; Merrien *et al.*, 1992; Nel, 2001), tales como porcentaje de cáscara, contenido de aceite y ceras así como por el tamaño del mismo (Das y Gupta, 2005; de Figueiredo *et al.*, 2011; Roath *et al.*, 1985).

Los autores consultados indican que tanto el efecto del Ambiente (Nel *et al.*, 2000a; Nel *et al.*, 2001), como el aporte de la interacción $G \times E$, sobre la variabilidad total de la facilidad al descascarado (Denis *et al.*, 1994; Di Leo *et al.*, 2004; Nel, 2001) serían menor al del Genotipo.

Al estar la aptitud de descascarado relacionada a la morfología del fruto y a sus características bioquímicas (Hernandez y Belles, 2007); cambios en la estructura de la cáscara por efecto del Ambiente se relacionarían con cambios en la facilidad al descascarado (Di Leo *et al.*, 2004; Rondanini *et al.*, 2006), por lo cual el efecto del Ambiente podría ser superior al estimado por la literatura consultada.

El estudio del aporte relativo a la variabilidad total del Genotipo, del Ambiente y la interacción $G \times E$ para la aptitud al descascarado, constituiría un aporte al conocimiento existente, con posibles implicancias para la toma de decisiones en investigación y en manejo del cultivo.

La determinación del período de mayor influencia de los factores ambientales (período crítico) ayudaría a la comprensión de la determinación del porcentaje y peso de cáscara y de aptitud al descascarado, así como de los procesos y mecanismos involucrados. También puede asistir en la toma de decisiones para el manejo agronómico del cultivo. Es además, información básica para incrementar la eficiencia de modelos predictivos que involucran la predicción de la calidad del producto para el

cultivo. En la literatura consultada no se encontraron trabajos tendientes a identificar los momentos de mayor efecto de las condiciones ambientales sobre la aptitud al descascarado.

La información existente del efecto de las características ambientales sobre la aptitud al descascarado de granos de girasol es escasa y no concluyente, por lo cual investigaciones al respecto ayudarían a la obtención de productos de mayor calidad.

Dentro del conjunto de características ambientales, el efecto de la temperatura fue una de las características más estudiadas, encontrándose que la exposición a altas temperaturas produce una disminución en el peso de la cáscara, que no se vio reflejado en la relación cáscara/pepa (Rondanini *et al.*, 2006). Así mismo, temperaturas superiores a 30°C, disminuyeron la aptitud al descascarado (García Ruiz, 1994; Rondanini *et al.*, 2006).

Las condiciones hídricas del suelo en el período de llenado de aquenios no presentaron una respuesta evidente sobre la aptitud al descascarado. Algunos autores refieren que condiciones de buen contenido de humedad en el suelo favorecen la facilidad de descascarado (Baldini *et al.*, 1994; Merrien *et al.*, 1992); en cambio otros reportan que un estrés hídrico en este período parece ser favorable para mejorar esta característica (Denis y Vear, 1994; García Ruiz, 1994; Nel *et al.*, 2001).

La incidencia de enfermedades al afectar el llenado de granos puede aumentar el porcentaje de cáscara (Zimmer y Zimmerman, 1972), influyendo de este modo, sobre la aptitud al descascarado. Las prácticas de manejo pueden influir también, sobre la facilidad de descascarado por ejemplo, la densidad de plantas, al afectar el tamaño de los aquenios (Villalobos *et al.*, 1994), afectaría la aptitud al descascarado (Browne *et al.*, 2003; Nel *et al.*, 2000b).

La fertilización de los cultivos con nitrógeno incrementaría la facilidad de descascarado (Browne *et al.*, 2003), al aumentar el peso de aquenios (García Ruiz, 1994; Merrien *et al.*, 1992). Sin embargo, Nel (2001) no encontró efecto de la fertilización nitrogenada sobre esta característica, posiblemente debido a las bajas dosis aplicadas.

La mayoría de los trabajos consultados sobre la aptitud al descascarado fueron realizados en estaciones experimentales bajo condiciones controladas, involucrando la manipulación de los factores ambientales tomados de a uno; no encontrándose trabajos previos que combinen información proveniente de una red de ensayos que cubran un rango importante de localidades con un registro robusto de información climática y fenológica, donde los diferentes factores ambientales puedan variar conjuntamente.

Este capítulo se centra en las características de porcentaje y peso de cáscara y de aptitud al descascarado, presentando como objetivos:

1. Estudiar las contribuciones relativas de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E sobre las características citadas.
2. Identificar la etapa fenológica de máxima respuesta de estas características de calidad al efecto combinado de factores ambientales.
3. Estudiar la respuesta de estas características de calidad a la variación combinada de factores ambientales, y establecer sus conexiones con el rendimiento y sus componentes, a fin de identificar combinaciones de factores ambientales y/o

Ambientes y Genotipos que permitan obtener una combinación de características de calidad superior para un determinado uso.

B. Cáscara

El valor medio observado de peso de cáscara por grano fue de 14,27 mg.grano⁻¹, con un desvío estándar de 2,87 mg.grano⁻¹; fluctuando los valores entre un mínimo de 9,81 mg.grano⁻¹ y máximo de 20,77 mg.grano⁻¹, lo cual implica una variación del 111% entre el valor mínimo y el máximo. El peso de cáscara se correspondió con valores medios de porcentaje de cáscara del 27,11%, con un desvío estándar de 3,22%; un valor mínimo observado de 19,8% y máximo de 32,35%, lo cual implica una variación del 63% entre el valor mínimo y el máximo.

Los valores de peso y porcentaje de cáscara se ajustaron a una curva de distribución normal; El rango que abarcaron se encuentra dentro del informado por la literatura referida al tema (Aguirrezabal *et al.*, 2001; Dedio, 1982; Nel, 2001). En el Anexo I, Tabla A3 1 se presenta una tabla descriptiva con los valores medios, mínimos, máximos, desvío estándar y mediana para cada una de las variables analizadas.

1. Contribución relativa de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E - Determinación de la fase ontogénica de máxima respuesta al efecto combinado de factores ambientales

Los modelos de análisis de la varianza explicaron el 87,5% de la variabilidad total para el porcentaje de cáscara y el 92,9% de la variabilidad del peso de cáscara (Tabla A4.1). Para el porcentaje de cáscara, el Genotipo explicó el 55% de la variabilidad total (Tabla A4.1). El análisis de regresión multivariada por fases de desarrollo mostró que la contribución relativa del Genotipo a la variabilidad total fue máxima en la etapa fenológica R5+200°Cd, donde explicó el 80% de la suma de cuadrados totales (Tabla A4.2). La contribución relativa del Ambiente a la variabilidad total, evaluada por el análisis de varianza fue del 30% (Tabla A4.1). La máxima contribución del Ambiente se observó en la etapa EME-R9 donde explicó el 28% de la variabilidad total por el análisis de regresión multivariada (Tabla A4.2). Estos resultados concuerdan con lo reportado por la bibliografía consultada (Baldini *et al.*, 1994; Denis *et al.*, 1994; Nel *et al.*, 2000a), para la cual una mayor proporción de la variabilidad total fue explicada por el Genotipo con respecto al Ambiente.

Para el peso de la cáscara por grano el efecto del Genotipo sobre la variabilidad total fue del 28%, observándose su mayor efecto en la etapa fenológica R5+200°Cd, donde explicó el 40% de la suma de cuadrados totales por el análisis de regresión multivariada, valor superior al explicado por el Ambiente en esta etapa. El efecto del Ambiente explicó el 23% de la SC (Tabla A4.1). Se identificaron, por el análisis de varianza multivariado entre esta variable y las condiciones ambientales en las diversas etapas de desarrollo evaluadas, dos etapas fenológicas en las cuales el efecto del Ambiente fue superior al del Genotipo, R1-R5 y R5+250-450°Cd (Tabla A4.3).

Los cultivares evaluados presentaron diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$), tanto al considerar peso de cáscara por aquenio como el porcentaje de cáscara. El híbrido con menor peso de cáscara por grano y menor porcentaje de cáscara

fue DK3820. En una posición intermedia, para ambas características, se agruparon DK3880 y DK3920. El mayor peso de cáscara fue observado en DK 4000 y DK 4200. Este último híbrido, al considerar el % de cáscara, no se diferenció del grupo de cultivares que presentaron los valores más altos y los valores medios (Tabla A4.1). Las agrupaciones de híbridos generadas en función de la diferencia de valores medios de peso de granos y peso de cáscara fueron diferentes (comparar (Tabla 3.1 y Tabla A4.1), indicando que los híbridos que presentaron un mayor peso de cáscara, no forzosamente, presentaron un mayor peso de granos.

La agrupación de Ambientes definida por el criterio del contenido de nitrógeno inicial fue la única que presentó G×E significativa ($p < 0,05$). Al presentar la G×E un peso sobre la variabilidad total inferior al capturado por el Genotipo (Tabla A4.1) la interacción puede ser considerada como un efecto menor (Crossa, 1990), por lo cual no fue analizada. Los resultados observados sobre la interacción Genotipo por Ambiente en este trabajo son coincidentes con lo informado por otros autores en cuanto a que su efecto es inferior al del Genotipo (Denis *et al.*, 1994; Di Leo *et al.*, 2004; Nel *et al.*, 2000a; Nel *et al.*, 2001).

El porcentaje de cáscara mostró mayor respuesta a los factores del Ambiente en la etapa fenológica R5+250-450°Cd, donde explicó el 21,6% de la SC (Tabla A4.2), valor inferior al capturado por el Genotipo (62,9% de la SC). Esta etapa coincide con la fase crítica identificada para peso de granos, sugiriendo que una parte de la variación estaría relacionada al efecto del Ambiente sobre el peso de la pepa.

El peso de la cáscara presentó dos etapas fenológicas en las cuales el efecto de las condiciones ambientales fue superior al resto de las etapas consideradas; R1-R5, el Ambiente explicó el 52,4% de la SC, etapa durante la cual se define el tamaño potencial de la cáscara (Lindström *et al.*, 2007) y R5+250-450°Cd donde el Ambiente explicó 46,9% de la SC (Tabla A4.3).

2. Respuesta del peso de cáscara a la variación combinada de factores ambientales con el rendimiento en aceite y con el peso y número de granos

a) Relación con el rendimiento en aceite, peso y número de granos.

No se encontró relación significativa entre el rendimiento en aceite con el porcentaje ni con el peso de cáscara. Esta falta de asociación fue observada tanto a través del análisis de la varianza de la agrupación de Ambientes por rendimiento medio (Tabla A4.1), como por el análisis de correlación entre el rendimiento en aceite con el % de cáscara ($R = -0,05$, $p = 0,7121$, $n = 55$), ni con el peso de la cáscara por grano ($R = -0,14$, $p = 0,3167$, $n = 55$).

La relación del peso de cáscara con el número de granos por unidad de superficie, presentó un coeficiente de Pearson, negativo ($R = -0,45$, $p = 0,005$, $n = 55$), altamente significativo; aunque a través del análisis de sendero se determinó que esta correlación refleja una relación aparente, causada por su alta asociación, negativa, con el peso de granos ($R = -0,66$, $p < 0,0001$, $n = 55$; coeficiente de paso indirecto, a través de peso de granos, $= -0,68$).

Las variables fenotípicas que se relacionaron más fuertemente con el peso de la cáscara fueron el peso de los granos y la concentración de aceite (Figura 4.1), las cuales en conjunto explicaron el 76% de la variabilidad total del peso de la cáscara, correspondiendo al peso del grano el 60% de la misma.

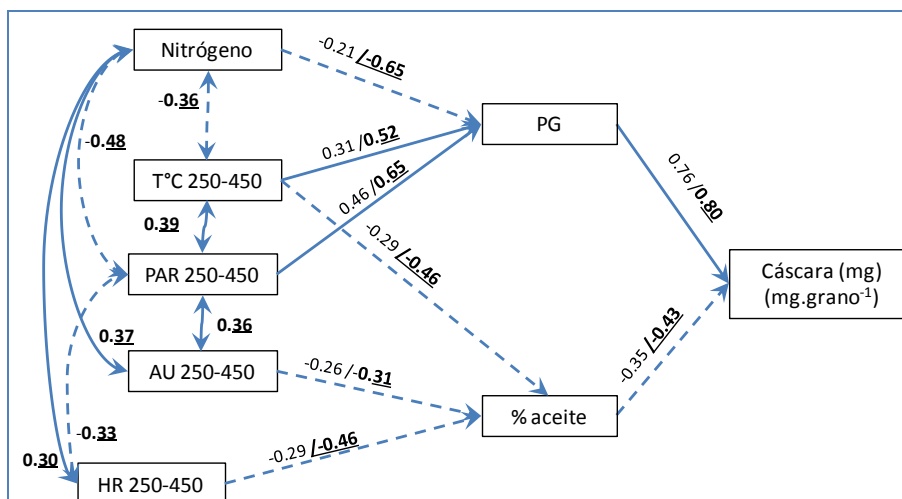


Figura 4.1: Representación esquemática de las relaciones causa/efecto sobre el peso de la cáscara, para la etapa fenológica R5+250-450°Cd, de características fenotípicas y factores ambientales, determinadas por el análisis de correlaciones simples y parciales. Términos de coeficientes de correlación parcial (efectos directos) son representados por vectores unidireccionales y por valores sin subrayar. Coeficientes de correlación de Pearson representados por arcos bi-direccionales y/o por valores subrayados. Líneas continuas representan relaciones directas, líneas punteadas relaciones inversas. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de aquellas utilizadas en esta figura.

a. Efecto de las condiciones ambientales sobre peso y porcentaje de cáscara en función de las zonas agroecológicas.

Para las características de peso y porcentaje de cáscara, la agrupación de localidades por el criterio de zonas agroecológicas no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) (Tabla A4.1).

b) Efecto del contenido de nitrógeno inicial sobre peso y porcentaje de cáscara.

El peso de la cáscara presentó un efecto significativo del contenido inicial de nitrógeno en suelo, evidenciado por diferencias entre los grupos realizados en función del contenido inicial de nitrógeno (Tabla A4.1) y por la alta correlación, inversa, entre estas dos características ($R = -0.59$, $p < 0.0001$, $n = 55$).

La diferencia entre los grupos generados en función del contenido inicial de N estuvo relacionada a un mayor peso de cáscara observado en el grupo “bajo N” con respecto al grupo “alto N” (Tabla A4.1), diferencia asociada a un mayor peso de granos y al porcentaje de hojas verdes en R7, en el grupo bajo N (Tabla A3.6).

El efecto del nitrógeno sobre el peso de la cáscara fue indirecto (Figura 4.1), a través de su efecto sobre el peso de los granos, lo cual fue analizado en el capítulo 3. Esta respuesta estaría asociada a la observada por la literatura para peso de granos, donde Ambientes con alto nitrógeno favorecerían el desarrollo de altos IAF, el cual

asociado a condiciones de humedad relativa que favorecen el avance de enfermedades (Delos y Moinard, 1997), acelerarían la tasa de senescencia (Seassau *et al.*, 2010). El coeficiente de correlación entre el % de cáscara y el nitrógeno inicial no fue significativo ($R = -0,11$; $p=0,4335$, $n=55$).

c) Efecto de los factores ambientales.

Los factores ambientales evaluados no presentaron un efecto directo significativo sobre el peso de la cáscara; estos influyeron, de manera directa, sobre el peso de los aquenios y sobre el porcentaje de aceite; y a través de estas características sobre el peso de la cáscara (Figura 4.1).

El PAR incidente fue el factor ambiental con mayor influencia sobre el peso de cáscara, significativo a través de todas las etapas fenológicas evaluadas. Su mayor influencia fue observada en el período R5+250-450°Cd, donde explicó el 22% de la SC, valor levemente inferior a la SC explicada por el Genotipo (Tabla A4.3).

El peso de la cáscara evidenció, por el análisis de la regresión multivariada, una leve relación positiva (6,4 – 3,4 % de la SC), aunque significativa, con la temperatura. Los análisis de correlación no fueron significativos ($p>0,05$) (Tabla A4.4).

En el capítulo 3 se explicitó una relación inversa de la temperatura sobre el número de granos y directa sobre el peso del grano, lo que promueve un aumento en el peso de cáscara. Estos resultados difieren de lo reportado por Rondanini *et al.* (2006), quienes informaron una relación inversa del peso de la cáscara con temperatura. Esta diferencia podría deberse a los rangos explorados por este grupo; trabajando en invernáculo exploraron rangos medios entre 22 y 41°C, mostrando disminución de peso de granos a partir de los 29°C. En este trabajo los rangos de temperatura media explorados fueron de 19,3°C a 24,9°C, rango en el cual en el trabajo citado no se observó variación en el peso de la cáscara por efecto de la temperatura. El trabajo de Chimenti *et al.*, 2001, demostró que hasta un rango de temperaturas medias de 25°C no se observaron diferencias significativas en el peso de los embriones, reportando un efecto negativo de la temperatura cuando este valor fue superado. Si bien observan un efecto negativo de la temperatura sobre el peso de la cáscara, concluyen que si bien la temperatura puede alterar la proporción de pericarpio en el grano, su trabajo no les permite extraer información sobre el efecto de la temperatura en la tasa y duración del período de crecimiento del pericarpio.

El efecto sobre el peso de la cáscara del agua útil disponible fue diferente en las dos etapas fenológicas identificadas como críticas. En la etapa R1-R5 la relación fue directa, explicando, por el análisis de varianza, el +5,5% de la SC. En la etapa fenológica R5+250-450 la relación fue inversa, capturando el -19,6% de la SC (Tabla A4.3). Este cambio de respuesta está relacionado a su efecto sobre el porcentaje de aceite, que fue positivo en la etapa R1-R5 y negativo en la etapa R5+250-450°Cd (Figura 4.1). En esta última etapa se observó un coeficiente de correlación inverso, altamente significativa entre el % de hojas verdes con el agua útil disponible en este período ($R=-0,58$, $p<0,0001$, $n=55$) y con las precipitaciones ($R=-0,51$, $p=0,0001$, $n=55$). El porcentaje de hojas verdes y el de aceite estuvieron directamente relacionados ($R=0,30$, $p=0,028$, $n=55$).

El cambio observado en el efecto de las variables ambientales en los distintos momentos del desarrollo del grano indican sobre qué factores fenotípicos están

actuando, en las etapas tempranas principalmente sobre la cáscara y su estructura (Lindström *et al.*, 2007) y en las etapas posteriores, en mayor medida, sobre el peso de la pepa (Aguirrezábal y Pereyra, 1998), de acuerdo a lo discutido anteriormente.

La relación hallada entre el peso de la cáscara y el agua útil difiere con lo reportado por Nel *et al.* (2001), los cuales no encontraron relación significativa entre estas dos características. Esta diferencia posiblemente surja de la metodología de análisis, dado que en el presente trabajo se observó el efecto del agua útil en conjunción con otras características ambientales (Tabla A4.3).

3. Discusión

De acuerdo a lo reportado previamente en la literatura (Baldini *et al.*, 1994; Denis *et al.*, 1994; Nel *et al.*, 2000a), se encontró que el porcentaje de cáscara es una característica fuertemente ligada al Genotipo; observándose en este trabajo que la mayor respuesta a las condiciones de Ambiente ocurre durante la etapa crítica de llenado de granos (R5+250-450°Cd), generalmente explicada por variaciones en el peso de la pepa.

El peso de cáscara no presentó un efecto directo de los factores ambientales, sino a través de su efecto, principalmente, sobre el peso de los granos. Se observó, también una relación negativa, más débil respecto al peso de granos, con la concentración de aceite. Esto fue corroborado tanto por la determinación del período crítico, el cual coincide para ambos factores, como a través del análisis de sendero.

El cambio observado en el efecto de las variables ambientales en los distintos momentos del desarrollo del grano sobre el peso de la cáscara, indican sobre que componentes están actuando. En las etapas tempranas, estos fueron principalmente la cáscara y su estructura (Lindström *et al.*, 2007) y en las etapas posteriores, y en mayor medida, el peso de la pepa (Aguirrezábal y Pereyra, 1998), de acuerdo a lo discutido anteriormente.

Al haberse encontrado variabilidad genotípica, la amplitud de la respuesta a los factores ambientales de estas características dependerá del Genotipo seleccionado (Baldini *et al.*, 1994; Denis *et al.*, 1994; Nel *et al.*, 2000a). La dependencia del peso de cáscara del Genotipo fue superior a la observada para peso de granos, lo cual podría estar relacionado a los procesos de selección por mayor porcentaje de aceite. Los cultivares que presentaron un mayor peso medio de granos no forzosamente presentaron un mayor peso medio de cáscara.

C. Aptitud al descascarado

Los datos obtenidos de aptitud al descascarado presentaron un valor medio del 34,9%, mediana de 33,7%, un desvío estándar de $\pm 12,3\%$, con un valor máximo de 61,6% y mínimo de 13,8%, ajustándose a una curva de distribución normal. La magnitud de los datos observados fue semejante a la presentada por Denis y Vear (1996), trabajando en Francia, e inferior a la obtenida por Nel *et al.* (2000a), quienes trabajando en Sud África encontraron valores desde 87% al 67%, atribuyendo estas diferencias, en facilidad de descascarado con respecto a los datos de Francia, a la menor densidad de los cultivos en su región y a condiciones ambientales de mayor estrés. En el Anexo I, Tabla A3 1 se presenta el valor medio, máximo, mínimo y desvío estándar de esta característica.

1. Contribución relativa de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E - Determinación de la fase ontogénica de máxima respuesta al efecto combinado de factores ambientales

Para la aptitud al descascarado, el análisis de varianza explicó el 83,9% ($p < 0,0001$) de la variabilidad total; el Genotipo capturó el 29% de la misma (Tabla A4.1). La máxima contribución del Genotipo, observada por el análisis de regresión multivariada por fase de desarrollo ontogénica, fue del 49,7% de la SC en la etapa EME-R9 (Tabla A4.5). La agrupación de cultivares, a través del análisis de medias, fue semejante a la obtenida al considerar el peso de la cáscara (Tabla A4.1).

La contribución relativa del Ambiente a la variabilidad total fue del 51% (Tabla A4.1), presentando la etapa EME-R9, por el análisis de regresión multivariada por fases ontogénicas, una contribución relativa del 16,7% (Tabla A4.5); a partir de R5 todas las etapas evaluadas presentaron una contribución del Ambiente a la variabilidad total superior a la del Genotipo, lo cual difiere con lo reportado por Nel *et al.* (2000a) y por Nel *et al.* (2001). Esta diferencia posiblemente sea debida a una mayor variabilidad ambiental explorada en nuestro trabajo, lo cual se tradujo en un rango de valores más amplio de aptitud al descascarado (48 por ciento de diferencia entre el valor superior e inferior), con respecto al informado por Nel *et al.* (2001) (aproximadamente, 20 por ciento de diferencia entre el valor superior e inferior), trabajando en Sud África.

La interacción Genotipo por Ambiente, para la aptitud al descascarado, no fue significativa, ni por el análisis de la varianza, a través de las diferentes agrupaciones de Ambientes, ni por el análisis de regresión multivariada por fase de desarrollo ontogénica.

Todas las etapas evaluadas a partir de R5 mostraron que el efecto del Ambiente fue superior al del Genotipo. La mayor respuesta a los factores ambientales fue observada en la etapa fenológica R5+300°Cd (Tabla A4.5), indicando que el efecto de los factores ambientales, sobre la aptitud al descascarado, se expresaría durante gran parte de la etapa de llenado de granos.

2. Respuesta de la aptitud al descascarado a la variación del rendimiento en aceite, del peso y número de granos y de los factores ambientales en forma combinada

a) Relación con el rendimiento en aceite, peso y número de granos.

Se observó una relación inversa, significativa, entre la aptitud al descascarado con el rendimiento en aceite tanto a través de la agrupación de Ambientes en función del rendimiento medio (Tabla A4.1) como por el análisis de correlación ($R = -0,45$, $p = 0,0006$, $n = 55$). El coeficiente de correlación entre aptitud al descascarado con el número de granos fue negativo, altamente significativo, ($R = -0,47$, $p = 0,0003$, $n = 55$), resultado semejante a lo observado para rendimiento.

La aptitud al descascarado del grupo “bajo”, en la agrupación de Ambientes realizada con el criterio de productividad media, fue superior ($p < 0.05$) a la observada en los grupos medio y alto (Tabla A4.1). Este valor superior de aptitud al descascarado del

grupo “bajo” estuvo asociado a un menor número de granos por unidad de superficie que presentaron un peso más elevado, a valores superiores de temperaturas, medias y mínimas y a valores inferiores de CQ y de humedad relativa (Tabla A3.3).

La asociación observada entre aptitud al descascarado y el rendimiento es una asociación indirecta, que refleja las relaciones entre rendimiento en aceite y número de granos y entre número de granos y peso de cáscara, ya discutidos anteriormente. La principal relación directa de la aptitud al descascarado fue con el peso de la cáscara, que presentó un coeficiente de paso directo igual a 0,54 y un coeficiente de Pearson de $R=0,73$ ($p<0,0001$, $n=55$ (Figura 4.2).

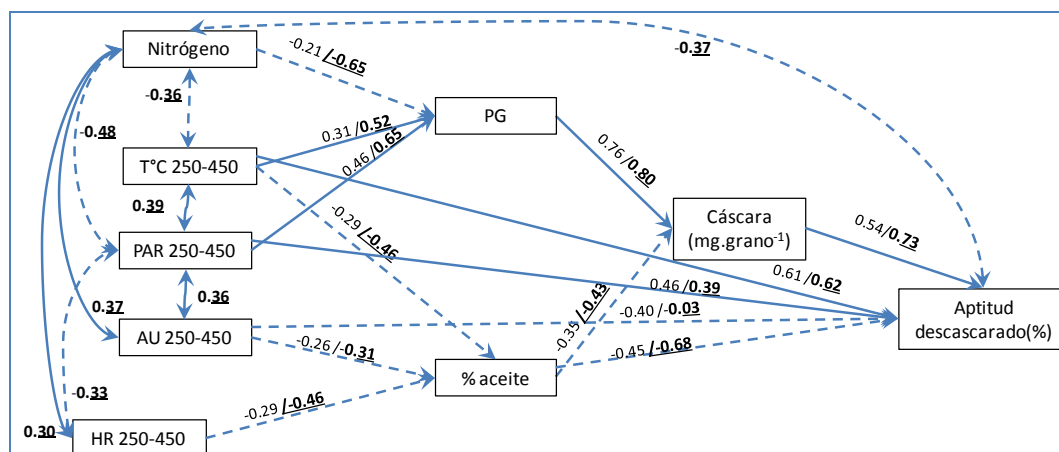


Figura 4.2: Representación esquemática de las relaciones causa/efecto sobre la aptitud al descascarado, para la etapa fenológica R5+250-450°Cd, de características fenotípicas y factores ambientales, determinadas por el análisis de correlaciones simples y parciales. Términos de coeficientes de correlación parcial (efectos directos) son representados por vectores unidireccionales y por valores sin subrayar. Coeficientes de correlación de Pearson representados por arcos bi-direccionales y/o por valores subrayados. Líneas continuas representan relaciones directas, líneas punteadas relaciones inversas. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de aquellas otras utilizadas en esta tabla.

b) Efecto de las condiciones ambientales sobre la aptitud al descascarado en función de las zonas agroecológicas.

La aptitud al descascarado de la zona NEA fue superior ($p<0.05$) a las zonas OESTE y SUR (Tabla A4.1). Esta diferencia estuvo asociada a características semejantes a las descritas para el grupo “bajo” de la agrupación de localidades por el criterio de rendimiento medio, lo cual sumado al hecho que los Ambientes componentes de la zona NEA están incluidos en el grupo bajo (Tabla 3.3), permite hacer extensiva las conclusiones asumidas en el punto anterior.

c) Efecto del contenido de nitrógeno inicial sobre la aptitud al descascarado.

La agrupación realizada en función del nitrógeno inicial no presentó diferencias significativas entre los grupos formados. Parte de la falta de habilidad para poder diferenciar el efecto del nitrógeno podría estar relacionada a la alta variabilidad captada por las localidades, repeticiones dentro de cada grupo (41% de la SC, Tabla A4.1), lo cual indicaría que otros factores ambientales podrían estar actuando con mayor incidencia sobre la aptitud al descascarado que el nitrógeno, generando esta alta variabilidad dentro de cada grupo.

La correlación observada entre la aptitud al descascarado y el contenido inicial de nitrógeno en suelo ($R=-0,37$, $p=0,005$, $n=55$) es una asociación indirecta, que refleja el

efecto negativo sobre el peso de granos del nitrógeno inicial en el suelo, discutido en el Capítulo 3 (Figura 4.2).

La falta de correlación directa entre la aptitud al descascarado y el nitrógeno coincide con lo reportado en la literatura consultada (Killi, 2004; Nel *et al.*, 2001; Ozer *et al.*, 2004), aunque en este caso se reporta un efecto indirecto, negativo, a través del efecto del nitrógeno sobre el peso de los granos que llegó a reflejarse en la aptitud al descascarado.

d) Efecto de las características climáticas.

A diferencia de lo observado para peso de cáscara, la aptitud al descascarado presentó efectos directos de la temperatura, el PAR incidente y al agua útil.

Los modelos evaluados demostraron que la temperatura mínima explicó la variabilidad de la aptitud al descascarado a un nivel de ajuste igual o superior al de la temperatura media, razón por la cual fue seleccionada. Los resultados obtenidos indicaron que a mayor temperatura mayor aptitud al descascarado, explicando el 27,6% de la SC por el análisis de regresión multivariada (Tabla A4.5). El efecto directo observado con el análisis de sendero fue de 0,61 (Figura 4.2), valores que refieren al alto peso de este factor del Ambiente sobre la aptitud al descascarado. La diferencia de respuesta con respecto a lo reportado por Rondanini *et al.* (2006) podría estar relacionada a los puntos discutidos en la sección de peso de cáscara de este Capítulo.

La aptitud al descascarado presentó un efecto inverso, altamente significativo, respecto a la variación del agua útil durante todo el período de llenado de granos, a mayor agua útil disponible menores valores de aptitud al descascarado (Tabla A4.5), explicando en la etapa R5+300°Cd el 27% de la SC. Estos resultados coinciden con lo observado a través del análisis de sendero (Figura 4.2). En los autores consultados se encontraron divergencias sobre la respuesta de la aptitud al descascarado al variar la disponibilidad hídrica; algunos trabajos reportaron que un buen contenido hídrico durante el desarrollo del cultivo aumenta la aptitud al descascarado (Baldini *et al.*, 1994; Merrien *et al.*, 1992), otros encontraron resultados inversos (Denis *et al.*, 1994; Denis y Vear, 1994; Nel, 2001).

La aptitud al descascarado reveló respuesta a variaciones en el PAR incidente en todas las etapas fenológicas evaluadas, con un mayor incidencia en la etapa R1-R5, que explicó el 14% de la variabilidad total y en R5+250-450°Cd que explicó el 9% de la SC. En el resto de los períodos logró capturar un valor aproximado al 2% de la SC, aunque en todos los momentos evaluados su efecto fue significativo (Tabla A4.5). El análisis de sendero presentó también un efecto positivo del PAR incidente, tanto en forma directa como indirecta a través de su incidencia sobre el peso de los granos (Figura 4.2).

No se encontró en la bibliografía consultada referencias al efecto del PAR sobre la aptitud al descascarado en forma directa; si se han encontrado referencias de efectos del PAR sobre la aptitud al descascarado a través de su efecto sobre el tamaño de los achenios (Andrade y Ferreiro, 1996; Izquierdo *et al.*, 2000).

La humedad relativa mostró efecto significativo sobre la aptitud al descascarado a partir de R5+200°Cd, con una mayor expresión en el período de R5+250-450°Cd donde expuso el 6% de la variabilidad total (Tabla A4.5). La acción de la HR se ejercería a través de su efecto, ya discutido, sobre el peso de los granos y sobre la

concentración de aceite, no en forma directa (Figura 4.2). No se encontró referencias en la literatura consultada acerca de su efecto sobre esta característica.

El análisis de partición recurrente, con el cual se logró captar el 81% de la variabilidad total (Figura 4.3), mostró que el primer factor de partición fue la temperatura mínima durante todo el ciclo del cultivo. Esta primera partición separó a las localidades del NEA y a los cultivares de ciclo más largo de Quemu Quemú del resto de datos observados en función de una temperatura mínima media superior a 14,6°C. Este grupo presentó los valores superiores de aptitud al descascarado. La partición siguiente en este grupo se dio por cultivar.

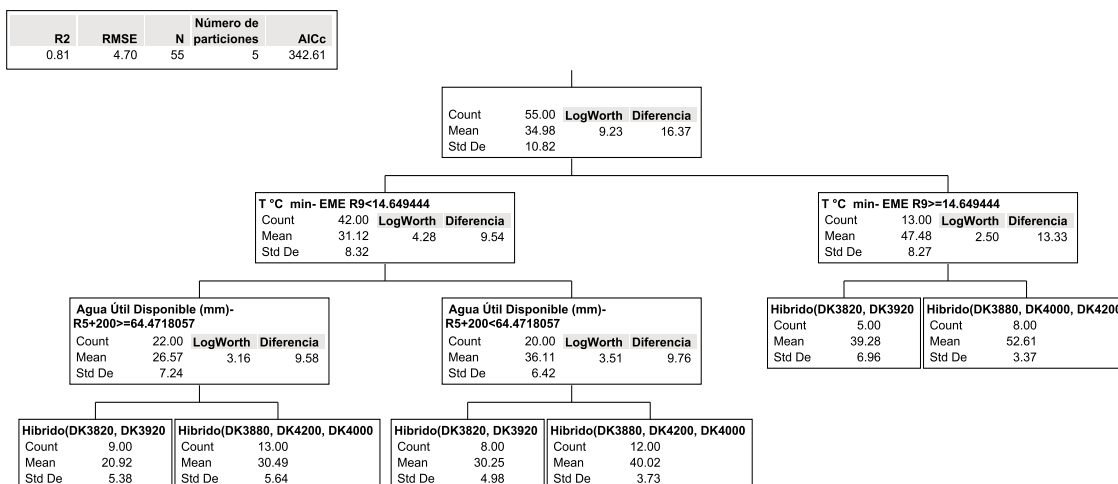


Figura 4.3: Partición dicotómica de los valores observados de aptitud al descascarado en función de Genotipos y datos observados de características fenotípicas y factores ambientales por el método de partición recurrente. Cada rectángulo indica el nombre de la característica y valor de la misma en función de la cual se generó la partición, el número total de observaciones involucradas en cada grupo (count), el valor medio del grupo (mean) y su desvío estándar (Std Dev), así como la amplitud de los valores observados dentro de cada grupo (diferencia) cuando este fue vuelto a subdividir. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

El grupo de menor temperatura durante el ciclo de cultivo volvió a subdividirse, esta vez en función del agua útil disponible durante el período R5+200°Cd, a más agua disponible resultaron menores valores de aptitud al descascarado.

La partición siguiente en estos grupos fue por cultivares, agrupándolos, en todos los casos, en forma semejante a la generada en función del análisis de diferencias de medias, posicionando a DK3880 dentro del grupo con mayor aptitud al descascarado. Los híbridos con mayor porcentaje de aceite quedaron en el grupo con menor aptitud al descascarado. Al estar la aptitud al descascarado relacionada a la morfología del fruto y a sus características bioquímicas (Hernandez y Belles, 2007), las respuestas observadas a los factores ambientales podría indicar que los mismos actuaron sobre las características bioquímicas de la cáscara.

El análisis de los resultados obtenidos en este capítulo llevó a relacionar el peso de la cáscara y la concentración de aceite como los factores ligados al Genotipo con mayor incidencia sobre la aptitud al descascarado (Figura 4.2).

El análisis de regresión multivariada, considerando la variación de la aptitud al descascarado en función del peso de cáscara (41,5% de la SC) y del porcentaje de aceite (28,2% de la SC) explicó el 69,8% de la variabilidad total. Los valores de VIF

observados fueron inferiores a 2, indicando que no hay colinealidad entre estas dos características.

Considerando estas dos características, porcentaje de aceite y peso de cáscara, se construyó un índice que las relaciona, expresando el % de aceite por unidad de peso de la cáscara, el cual presentó una relación inversa altamente significativa con la aptitud al descascarado ($R=0,862$, $p<0,0001$, $n=49$) (Figura 4.4). Esta relación explicó una proporción mayor de la suma de cuadrados que la obtenida utilizando un modelo aditivo, como el descrito anteriormente. El efecto del Genotipo ($p=0,581$), ni su interacción con este índice ($p=0,596$) fueron significativos, indicando que esta relación es general para diferentes Genotipos y es la que influiría en la aptitud al descascarado.

No se encontró en la bibliografía consultada referencias a la asociación entre la aptitud al descascarado con la relación $\% \text{aceite}/\text{cáscara}(\text{mg.grano}^{-1})$, la cual podría ser explicada por una posible competencia entre el desarrollo del embrión y del pericarpio (Roth (1977) citado por Lindström *et al.* (2007)), por lo cual al haber condiciones ambientales para una mayor producción de aceite por grano se producirían pericarpios más finos y flexibles (Lindström *et al.*, 2007). Por otro lado condiciones ambientales que generen granos parcialmente llenos determinan un espacio entre la cáscara y el grano que explica en gran medida la aptitud al descascarado (Denis *et al.*, 1994; Denis y Vear, 1994); estas condiciones de Ambiente están relacionadas a menores contenidos de aceite por grano. Parte de la variabilidad no explicada por este índice podría ser atribuida a diferencias en la morfología del fruto y en sus propiedades bioquímicas (Hernandez y Belles, 2007), como lo sugiere la respuesta encontrada al efecto de características ambientales. Esta relación surge como una variable general, a través de Genotipos, indicadora de la aptitud al descascarado, utilizando características fenotípicas de relativamente fácil determinación por lo cual es conveniente ahondar en su conocimiento.

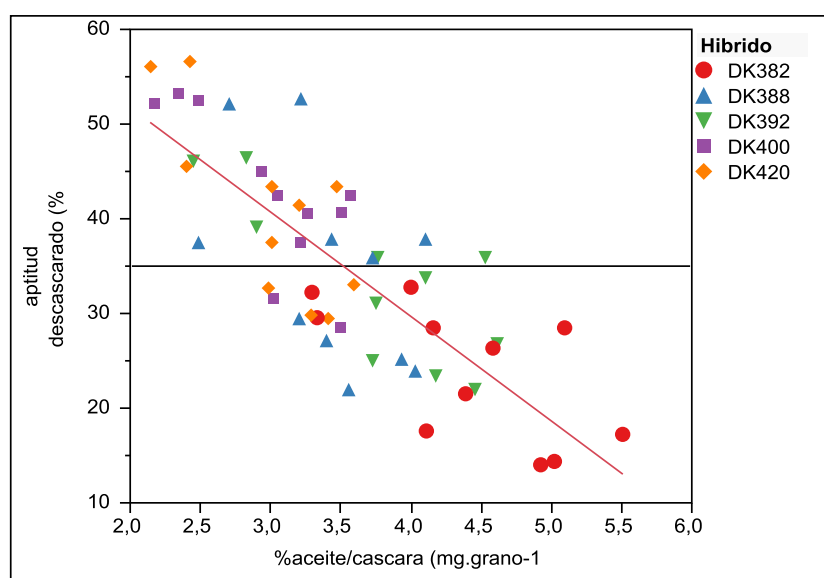


Figura 4.4: Respuesta de la aptitud al descascarado ante cambios en la relación $\% \text{aceite}/\text{cáscara}(\text{mg.grano}^{-1})$ ($R=0,862$; $p<0,0001$; intercepción= $76,39 \pm 3,61$; pendiente= $-11,91 \pm 1,02$; $n=49$). Línea paralela al eje x representa valor medio de aptitud al descascarado. Los símbolos representan a los diferentes cultivares, en cada una de las localidades.

D. Conclusiones

La contribución del Genotipo a la variabilidad total fue superior a la del Ambiente para el porcentaje de cáscara. El peso de cáscara y la aptitud al descascarado presentaron mayor contribución del Ambiente a su variabilidad, respecto a la contribución del Genotipo. Para ninguna de estas características la interacción $G \times E$ fue significativa (Objetivo 1 este Capítulo).

Los períodos de desarrollo del cultivo, que presentaron mayor respuesta a las características del Ambiente evaluados fueron para el % de cáscara R5+250-450°C D (21,6% de la SC); para peso de cáscara R1-R5 (52,4% de SC) y R5+250-450°C D (46,9% de la SC). Para la aptitud al descascarado el período de mayor respuesta fue R5+300°C D (55,2% de la SC). Los períodos críticos para estas características no fueron previamente reportados para girasol (Objetivo 2 este Capítulo).

No se observó un efecto directo de los factores ambientales sobre el peso de la cáscara, sino en forma indirecta a través de su efecto sobre el peso de achenios y el porcentaje de aceite. Este efecto indirecto no fue previamente reportado (Objetivo 3 este Capítulo).

Se identificó como indicador de la aptitud al descascarado a la relación %aceite/peso de cáscara (mg.grano^{-1}). Este indicador no es sensible al efecto Genotipo, por lo cual sumado a la facilidad relativa de determinación, posterior a trabajos tendientes a entender sus bases funcionales, se podría utilizar como un indicador general para el ordenamiento del proceso industrial de extracción de aceite.

Los factores ambientales influyeron sobre la aptitud al descascarado tanto a través de su influencia sobre el peso de la cáscara como en forma directa. El PAR incidente y la temperatura influyeron positivamente y el agua útil disponible en forma negativa (Objetivo 3 este Capítulo).

En el Capítulo 5, con una metodología semejante a la utilizada en este Capítulo, se estudian para el contenido de ceras en granos y en aceite, otras de las características de calidad relacionadas principalmente al proceso industrial, los efectos del Genotipo, del Ambiente y su interacción. También se identifican los efectos de las variables ambientales en forma conjunta sobre estas características; así como las etapas fenológicas de mayor respuesta a los factores ambientales.

Capítulo 5

CERAS EN ACEITE DE GIRASOL

Ceras en aceite de girasol

En el capítulo 4 se identificaron, para las características de peso y porcentaje de cáscara y aptitud al descascarado, las contribuciones relativas del Genotipo, del Ambiente y de su interacción sobre la variabilidad total. Se determinó la influencia combinada de factores ambientales así como los períodos críticos para cada una de ellas. En el presente capítulo para la concentración de ceras en aceite se estudia la contribución relativa del Genotipo, del Ambiente y de su interacción a la variabilidad total. Además, se analizan las respuestas de dicha variable a las condiciones ambientales imperantes en diferentes etapas fenológicas, en orden a identificar un período de máxima respuesta a las condiciones del Ambiente. Se evalúa la respuesta de esta variable a la variación combinada de factores ambientales y su relación con el rendimiento en aceite. Además, se analizó la relación de esta variable con el peso de cáscara y la aptitud al descascarado.

A. Introducción

La semilla de girasol posee hasta un 3% de ceras, la mayor parte de la cual se encuentra en la cáscara del girasol (Carelli *et al.*, 2002). Durante el proceso de extracción las ceras pasan al aceite enturbiando el mismo (Santalla *et al.*, 1993). Como los aceites deben ser límpidos a temperatura Ambiente (Codex Alimentario), las ceras presentes en el aceite deben ser eliminadas durante el refinado del aceite (proceso conocido como winterizado), por lo que un aumento en su contenido afecta el proceso de purificación.

La literatura consultada refiere que el contenido de ceras puede variar en función del Genotipo (Morrison, 1983; Roath *et al.*, 1985), de las condiciones de Ambiente o por el manejo agronómico (Franchini *et al.*, 2010; Lajara *et al.*, 1990; Morrison, 1983; Morrison *et al.*, 1984). No se encontraron referencias sobre la presencia o no de interacción entre estos factores.

El estudio de las contribuciones relativas del Genotipo, del Ambiente y de la interacción $G \times E$ sobre el contenido de ceras en aceite es un aporte valioso al conocimiento existente, con implicancias, por ejemplo en la evaluación de opciones para el mejoramiento genético o para las decisiones de manejo agronómico del cultivo de girasol.

La deposición de ceras en la cáscara se produce durante todo el desarrollo del grano (Morrison *et al.*, 1984), pero mayormente en las etapas tempranas (Franchini y Hernandez, 2006). En general se considera que condiciones favorables para una alta producción de aceite de girasol favorecen una menor concentración de ceras en aceite (Franchini *et al.*, 2010; Lajara *et al.*, 1990; Morrison, 1983; Morrison *et al.*, 1984). No existen, a nuestro conocimiento, estudios que investiguen de manera profunda las relaciones entre la concentración de ceras en el aceite y el rendimiento en aceite.

El contenido de ceras en el grano varía con la cantidad de cáscara del mismo (Franchini y Hernandez, 2006; Franchini *et al.*, 2010; Lajara *et al.*, 1990; Morrison, 1983), pudiendo influir, también, la concentración de aceite en el grano. Morrison *et al.*

(1984) encontraron para la relación entre el contenido de ceras y aceite en el grano una fuerte interacción con el Ambiente.

En general, la información disponible del efecto de los factores ambientales sobre la concentración de ceras en aceite es fragmentaria, considerando la variación individual de cada uno de los factores, sin analizar su efecto combinado. La caracterización del efecto de los factores climáticos asiste a la identificación de las causa de variación, de la presencia o no de $G \times E$, así como a determinar la repetitividad de sus efectos.

La concentración de ceras en aceite presentó una fuerte relación inversa con la temperatura, de mayor magnitud cuando estuvo asociado a estrés hídrico, aunque sin llegar a cuantificarse la contribución relativa de cada factor (Morrison *et al.*, 1984).

La ocurrencia de precipitaciones durante el período de llenado de achenios está relacionada a un lavado de ceras, disminuyendo su concentración. Déficit moderados de agua generaron mayores contenidos de ceras en aceite (Franchini *et al.*, 2010; Morrison *et al.*, 1984). Morrison *et al.*, (1984) encontraron que la magnitud del efecto del estrés hídrico fue superior sobre la concentración de aceite que sobre el contenido de ceras, indicando que la interacción entre estos factores es compleja y requiere ser investigada.

La concentración de ceras en aceite esta relacionada a otras características de calidad, por ejemplo a la aptitud al descascarado; problemas en el descascarado, durante el proceso industrial de extracción de aceite, se traducen en incrementos del contenido de ceras; ambas características son influenciadas por el Genotipo y por los factores ambientales, por lo cual es importante conocer su variación conjunta ante cambios en el Ambiente.

No se encontraron trabajos previos que combinen información proveniente de una red de ensayos que cubran un rango importante de localidades, con un registro robusto de información climática y de fenología del cultivo para la concentración de ceras en aceite, abordando de manera conjunta los efectos del Genotipo, del Ambiente y de su interacción, así como la relación con otras características de calidad.

Los objetivos de este capítulo, en lo referido a la concentración de ceras en achenios y en aceite fueron:

1. Estudiar las contribuciones relativas de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción $G \times E$ sobre las características citadas.
2. Identificar la etapa fenológica de máxima respuesta de estas características de calidad al efecto combinado de factores ambientales.
3. Estudiar la respuesta de estas características de calidad a la variación combinada de factores ambientales, y establecer sus conexiones con el rendimiento y sus componentes, a fin de identificar combinaciones de factores ambientales y/o de Ambientes y/o de Genotipo que permitan obtener una combinación de características de calidad superior para un determinado uso.
4. Determinar el efecto del peso de cáscara y concentración de aceite sobre estas características

B. Resultados y discusión

El valor medio de la concentración de ceras en aceite fue de $973 \mu\text{g.g aceite}^{-1}$ con un desvío estándar de $148 \mu\text{g.g aceite}^{-1}$, un valor máximo de $1355 \mu\text{g.g aceite}^{-1}$ y un mínimo de $653 \mu\text{g.g aceite}^{-1}$.

El peso de ceras por grano presentó un valor medio de $0,02 \text{ mg.grano}^{-1} \pm 0,0047$, con un valor máximo de $0,03 \text{ mg.grano}^{-1}$ y mínimo de $0,01 \text{ mg.grano}^{-1}$. Estas características presentaron una distribución de datos que se ajustó a la curva de distribución normal. Estos valores de concentración de ceras en aceite están comprendidos dentro del rango reportado por Morrison *et al.* (1984), quienes observaron una variación entre $2000 \mu\text{g.kg aceite}^{-1}$ a $600 \mu\text{g.kg aceite}^{-1}$ generada por la combinación de cultivares y condiciones ambientales.

1. Contribución relativa de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E - Determinación de la fase ontogénica de máxima respuesta al efecto combinado de factores ambientales

Para el contenido de ceras en granos y en aceite la variabilidad total explicada por el análisis de regresión multivariada fue superior a la capturada por el modelo de análisis de varianza. El modelo de análisis de regresión multivariada explicó, para la concentración de ceras en aceite, el 80,9% de la suma de cuadrados totales cuando el análisis de varianza capturó el 67,2 de la SCT (comparar Tablas A5.1 y A5.2). Por otro lado, en el análisis de varianza se observa que una proporción significativa de esa variabilidad fue explicada por el efecto de las localidades dentro de Ambientes, consideradas repeticiones dentro de cada agrupación de Ambientes formada de acuerdo a los criterios discutidos en el capítulo 3 (Tabla A5.1). Por contraste el análisis de regresión multivariada incluye esta variabilidad dentro del modelo, a través de los factores ambientales evaluados en cada localidad (Tabla A5.2). Estos resultados sugieren al modelo de regresión multivariada como una mejor herramienta, en esta situación, para interpretar los efectos del Genotipo, del Ambiente y de su interacción. Para el contenido de ceras en granos comparar Tablas A5.1 y Tablas A5.3.

La variabilidad observada en el peso de ceras por grano estuvo relacionada, principalmente, a variaciones en el Genotipo, los cuales explicaron el 61,9% de la SC. La contribución relativa del Ambiente a la variabilidad total fue del 13,8% de la SC. La interacción Genotipo por Ambiente no fue significativa (Tablas A5.3).

La contribución del Genotipo a la variabilidad total de la concentración de ceras en aceite fue del 49,7% (Tabla A5.2). Las diferentes etapas fenológicas estudiadas revelaron un efecto del Genotipo semejante a través de ellas; en todos los casos superior a la contribución relativa del Ambiente. El Ambiente explicó el 28,4% de la SC (Tabla A5.2), con un peso sobre la variabilidad total semejante en todas las etapas fenológicas que contemplaron al período de llenado de granos; el mayor efecto del Ambiente se observó en la etapa R5+300°Cd donde explicó el 34,3% de la SC. La interacción Genotipo por Ambiente no fue significativa.

Los resultados observados corroboraron, mediante otra metodología, que la deposición de ceras en el grano comienza en etapas tempranas del desarrollo del mismo

(Franchini y Hernandez, 2006; Morrison *et al.*, 1984) y se extiende hasta la cosecha, sin diferenciación significativa en ninguna de ellas (Tabla A5.2).

En función del peso de ceras en granos los Genotipos pueden ser divididos, por análisis de diferencias de medias, en tres grupos, los cuales no se correspondieron con los grupos formados en función de peso de granos o de cáscara (Tablas 3.1 y A4.1). El grupo de mayor contenido de ceras por granos se diferenciò del grupo con menor contenido por presentar, además, mayor porcentaje de aceite y de aceite por grano (Tabla A5.1).

El análisis de diferencias de medias de los Genotipos para la concentración de ceras en aceite, agrupó a dos cultivares, DK3820 y DK4000, con las mayores concentraciones de ceras en aceite. Estos cultivares presentaron entre si diferencias significativas en porcentaje de aceite, aceite por grano y peso de cáscara; mientras que el peso de los granos fue semejante. La menor concentración de ceras en aceite se observó en los restantes dos híbridos, DK3880 y DK4200 que difirieron entre ellos en las mismas características que el grupo anterior, incluido el peso de granos. El contenido de ceras en aceite de DK3920 fue estadísticamente semejante a los dos grupos anteriores (Tabla A5.1).

Los resultados anteriores sugieren que los procesos de formación de ceras están mayormente influenciados por el Genotipo, tanto para el contenido de ceras en granos como para su concentración en aceite, está última característica con un mayor efecto relativo del Ambiente respecto a la primera. La influencia del Genotipo se puede expresar a través de los procesos de formación de las ceras o a través de la relación, de estos procesos, con otras características genotípicas, dentro de las cuales se analizaron el peso de la cáscara y del aceite por grano, el peso de los granos y la relación %aceite/cáscara (mg.grano^{-1}).

La expresión del contenido de ceras, tanto en granos como en aceite, no estaría directamente relacionada a la cantidad de cáscara; presunción que surge del hecho de haberse encontrado que cultivares con altas concentraciones de ceras pueden presentar, indistintamente, mayores o menores pesos relativos de cáscara (Tabla A5.1 y Tabla A4.1). El análisis de correlación tampoco reveló un efecto directo del peso de la cáscara sobre la concentración de ceras en aceite o en granos (Tabla A5.4).

El peso de aceite por grano fue la característica fenotípica de mayor relación, directa con el peso de cera por grano ($R=0,79$, $p<0,0001$, $n=55$). El análisis de regresión multivariada reveló que el Genotipo y el peso de aceite por granos explicaron de manera semejante la variabilidad total, sin interacción significativa (Tabla 5.1), indicando que a mayor peso de aceite por grano, mayor peso de ceras por grano, independientemente del Genotipo.

Tabla 5.1: Contribución relativa del Genotipo, del contenido de aceite por grano y su interacción a la variabilidad total del contenido de ceras por grano determinado por el análisis de regresión multivariada. GL: grados de libertad del modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación directa (+) o inversa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Consultar índice de abreviaturas en la página xviii para el significado de las otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

ceras/grano (mg.grano ⁻¹)				
Modelo	GL	Efecto	% SC	prob F>
R²	55		0,875	<.0001
Genotipo			40%	<.0001
aceite por grano total (mg.grano ⁻¹)		+	46%	<.0001
Genotipo×aceite por grano total (mg.grano ⁻¹)			2%	0,6092

La relación encontrada entre peso de ceras por grano con peso de granos ($R=0,61$, $p<0,0001$, $n=55$) no presentó un efecto directo significativo (coef. de paso directo = 0,03), indicando que esta es una relación aparente, generada por la relación del peso de granos con el peso de aceite por grano (coef. de paso indirecto = 0,81), lo cual indica que a mayor peso de granos, mayor cantidad de aceite por grano, lo cual está relacionado con mayor cantidad de ceras por granos

El peso de ceras por grano no presentó correlación significativa con el peso de la cáscara por grano ($R=0,23$, $p=0,0843$, $n=55$). La relación porcentaje de aceite/peso de cáscara (mg.grano⁻¹) fue la característica fenotípica que presentó mayor correlación con la concentración de ceras en aceite ($R=0,41$, $p=0,0002$, $n=55$) (Coef. de paso directo=+0,36) (Figura 5.1).

La concentración de ceras en aceite exhibió correlación negativa con el peso de la cáscara ($R=-0,36$, $p=0,006$, $n=55$). No se encontró efecto directo sobre la concentración de ceras en aceite del porcentaje de aceite en el grano ($R=0,15$, $p=0,281$, $n=55$) (Figura 5.1). La relación %aceite/cáscara (mg.grano⁻¹), al combinar ambos efecto presentó una correlación altamente significativa ($R=0,41$, $p<0,0001$, $n=55$), el análisis de sendero demostró que esta es una relación directa (coef de paso directo 0.36, Figura 5.1).

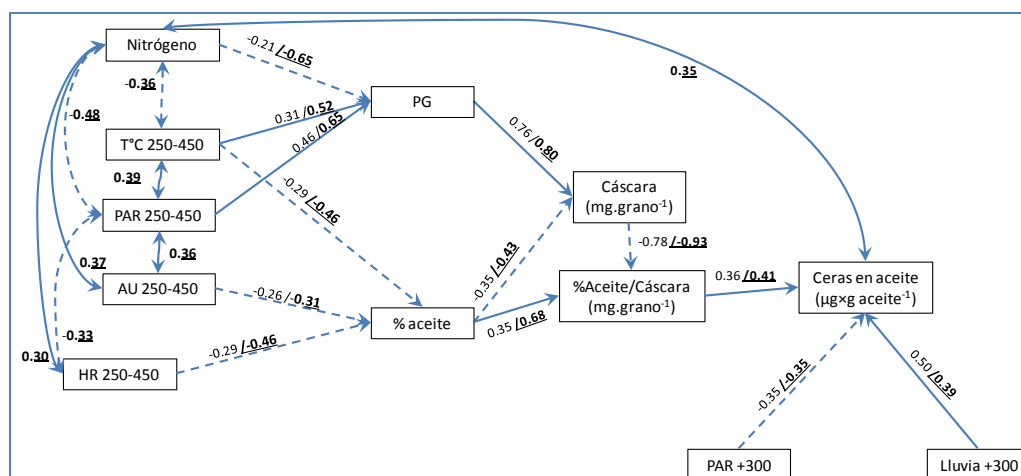


Figura 5.1: Representación esquemática de las relaciones causa/efecto sobre la concentración de ceras en aceite, para la etapa fenológica R5+250-450°Cd, de características fenotípicas y factores ambientales, determinadas por el análisis de correlaciones simples y parciales. Términos de coeficientes de correlación parcial (efectos directos) son representados por vectores unidireccionales y por valores sin subrayar. Coeficientes de correlación de Pearson representados por arcos bi-direccionales y/o por

valores subrayados. Líneas continuas representan relaciones directas, líneas punteadas relaciones inversas. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta figura.

Estos resultados no concuerdan con lo reportado mayormente en la literatura, en cuanto a que el peso de la cáscara puede influir directamente en la concentración de ceras en aceite (Franchini y Hernandez, 2006; Franchini *et al.*, 2010; Lajara *et al.*, 1990; Morrison, 1983); no obstante se han encontrado trabajos con algunos resultados similares. Por ej. Morrison (1983), sugiere que si se consideran rangos amplios de peso de cáscara (17-42% de cáscara), la relación entre ceras y peso de cáscara puede ser negativa, refiriendo, también, respuestas diferentes entre Genotipos.

El haber encontrado un cultivar (DK4200) con bajas concentraciones de ceras en aceite y alto peso de aceite por grano, indicaría, conjuntamente con la variabilidad observada en este y otros trabajos, que es posible seleccionar cultivares con altos porcentajes de aceite y bajas concentraciones relativas de ceras en aceite, la combinación apropiada de estas características.

Si bien se encontró correlación inversa ($R=-0,26$, $p=0,05$, $n=55$) entre la concentración de ceras en aceite y la aptitud al descascarado, su efecto directo no fue significativo ($p>0,05$), indicando que esta relación podría reflejar el efecto del porcentaje de aceite sobre la aptitud al descascarado, tal lo discutido en el capítulo 4. La relación de ceras por grano con aptitud al descascarado no fue significativa ($R=-0,07$, $p=0,606$). Estos resultados son coincidentes con lo reportado por Nel (2001), el cual citando a varios autores refiere resultados contradictorios en cuanto al efecto del contenido de ceras sobre esta característica del aquenio.

2. Respuesta de la concentración de ceras en aceite a la variación del rendimiento en aceite, del peso y número de granos y de los factores ambientales en forma combinada.

a) Relación con el rendimiento en aceite, peso y número de granos.

No se encontraron relaciones robustas entre la concentración de ceras en aceite con rendimiento en aceite, con número de granos ni con peso de granos. La relación de la concentración de ceras en aceite con el rendimiento en aceite ($R=0,11$, $p=0,422$, $n=55$) y con el número de granos por unidad de superficie ($R=0,27$, $p=0,051$, $n=55$) no fueron significativas; tampoco fue significativa la interacción $G \times E$ para estas características ($p>0,10$). El peso de granos no presentó un efecto directo significativo sobre la concentración de ceras en aceite (coef.de paso directo = 0,02). El valor del coeficiente de Pearson encontrado ($R=-0,31$) está relacionado mayormente a un efecto indirecto a través del peso de la cáscara.

La agrupación de localidades generada en función de la productividad, reveló que el grupo medio presentó valores superiores ($p<0,05$) de ceras en aceite respecto a los otros dos grupos (Tabla A5.1); diferencia asociada a un menor peso de aceite por grano ($p=0,0005$), sin interacción $G \times E$. Estas diferencias no pudieron ser explicadas por los valores medios de los factores ambientales durante la etapa del cultivo, excepto por el nitrógeno, el grupo medio presentó valores superiores (Tabla A3.3).

En base a los puntos anteriores, no se encontraron evidencias para atribuir un efecto de la productividad media del Ambiente sobre el contenido de ceras, aunque trabajos anteriores relacionaron la concentración de ceras en aceite en forma indirecta con la productividad, a mejores condiciones para la productividad del girasol menores contenidos de ceras en aceite (Franchini *et al.*, 2010; Morrison *et al.*, 1984).

Las zonas agroecológicas, para el contenido de ceras en aceite, no presentaron diferencias significativas entre ellas (Tabla A5.1).

b) Efecto del contenido de nitrógeno inicial sobre la concentración de ceras en el aceite.

Si bien se observó, a través del análisis de varianza de las agrupaciones de Ambientes en función del nitrógeno y por rendimiento medio (Tabla 3.3 y Tabla A5.1), así como por el análisis de correlación (Tabla A5.4), que altos contenidos de ceras en aceite están asociados a altos contenidos de nitrógeno en el suelo, el análisis de sendero demostró que esta es una relación aparente, el efecto directo no fue significativo (Figura 5.1). No se encontró, en la literatura consultada, referencias acerca del efecto del nitrógeno disponible sobre la concentración de ceras en aceite.

c) Efecto de los factores ambientales

El volumen de las precipitaciones fue la característica ambiental con mayor incidencia sobre la concentración de ceras en aceite, mostrando que a mayor volumen de precipitaciones, mayor concentración de ceras en aceite ($R=0,39$, $p=0,003$, $n=55$, coef de paso directo = $0,50$) (Figura 5.1).

El efecto de la humedad relativa sobre la concentración de ceras en aceite fue similar al observado para las precipitaciones ($R=0,44$, $p=0,0004$, $n=55$), reflejo de la alta correlación de sus valores ($R=0,83$, $p<0,0001$, $n=55$). El efecto, positivo, de la humedad relativa se expresó en todas las etapas fenológicas evaluadas, exhibiendo su mayor incidencia en la etapa $R5+300^{\circ}\text{Cd}$, donde explicó el 24% de la SC (Tabla A5.2).

El agua disponible presentó relación inversa con la concentración de ceras en aceite, evidenciada por el análisis de la regresión multivariada, excepto en la etapa $R5+250-450^{\circ}\text{CD}$ donde presentó un valor positivo (Tabla A5.2), y por el análisis de partición recurrente (Figura 5.2), que demostró que las situaciones con menores contenidos de agua útil en el suelo presentaron mayores contenidos de ceras en aceite. Concordando con la literatura, que déficit moderados de agua generan mayores contenidos de ceras en aceite (Franchini *et al.*, 2010; Morrison *et al.*, 1984). Además estos resultados sustentan lo observado sobre el efecto de las precipitaciones, en cuanto a que reflejan la relación con el PAR incidente y no directamente el efecto del estado hídrico.

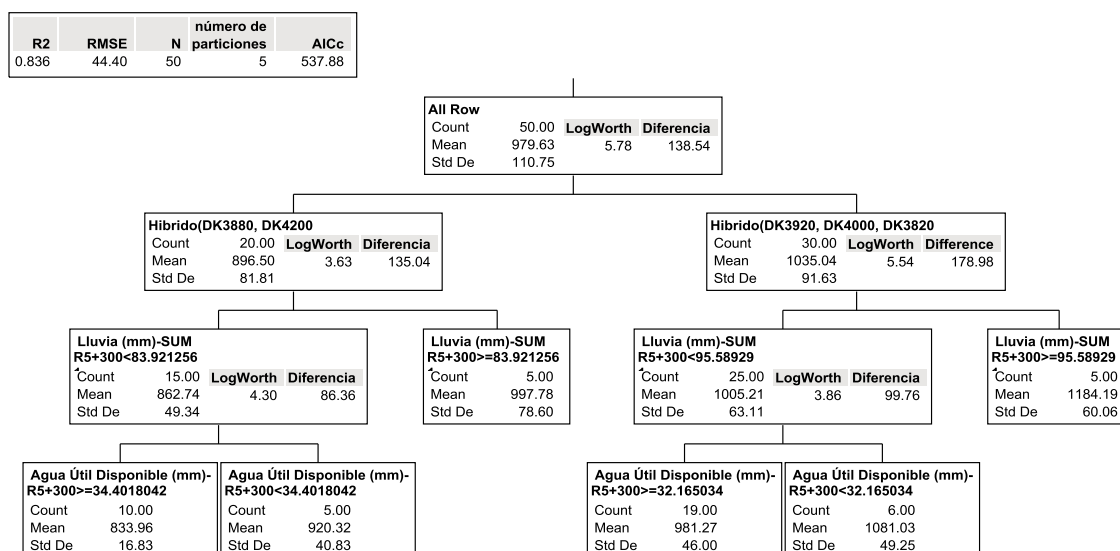


Figura 5.2: Partición dicotómica de los valores observados de concentración de ceras en aceite en función de Genotipos y datos observados de características fenotípicas y factores ambientales generado por el método de partición recurrente. Cada rectángulo indica el nombre de la característica y valor de la misma en función de la cual se generó la partición, el número total de observaciones involucradas en cada grupo (count), el valor medio del grupo (mean) y su desvío estándar (Std Dev), así como la amplitud de los valores observados dentro de cada grupo (diferencia) cuando este fue vuelto a subdividir. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta figura.

La temperatura reveló un efecto inverso sobre la concentración de ceras en aceite. El mayor efecto de esta característica del Ambiente fue observado en el período R1-R5 donde explicó el 8,5% de la variabilidad total. En el período R5.5+300°Cd explicó el 2,5% de la SC (Tabla A5.1). Morrison *et al.* (1984), que observaron una relación entre concentración de ceras en aceite y temperatura semejante a la anteriormente detallada, explicaron que altas temperaturas no relacionadas a condiciones de déficit hídrico poseen poco efecto sobre la concentración de ceras en aceite.

El análisis de regresión multivariada por etapas fenológicas de la concentración de ceras en aceite reveló que la relación con el PAR fue inversa y significativa en todos los momentos post floración evaluados (Tabla A5.2). El análisis de correlación, asimismo, reveló una relación inversa ($R=-0,5$, $p<0,0001$, $n=55$), altamente significativa. El efecto del PAR incidente se ejerció tanto directamente, como a través de su efecto sobre la relación %Aceite/Cáscara (mg.grano^{-1}), con la cual presentó una relación negativa ($R=-0,44$, $p=0,0007$, $n=55$) (Figura 5.1).

Las relaciones encontradas pueden brindar una posible explicación del efecto sobre la concentración de ceras en aceite de las precipitaciones y de la humedad relativa, basada en la disponibilidad de fotosintatos y su efecto sobre las tasas de acumulación de aceite y ceras en el grano.

Las precipitaciones y la humedad relativa por un lado presentaron una relación negativa con el PAR incidente (Tabla A3.11) y por otro afectaron la habilidad del cultivo para la captura de luz al afectar el área fotosintética, estimada a partir del porcentaje de hojas verdes (Correlación del porcentaje de hojas verdes en R7 con HR R5+300°Cd ($R=-0,72$, $p<0,0001$, $n=55$) y precipitaciones R5+300°Cd ($R=-0,64$, $p<0,0001$, $n=55$). Estos dos efectos, en forma conjunta, limitarían la disponibilidad de fotosintatos. La caída en la disponibilidad de fotosintatos podría afectar en mayor grado

la tasa de deposición de aceite que a la de ceras, incrementándose, de esa manera, la concentración de ceras en aceite. Morrison *et al.*, (1984), refieren que el efecto del Ambiente fue superior sobre la concentración de aceite que sobre la concentración de ceras, efecto similar al reportado para tocoferoles en aceite por (Nolasco *et al.*, 2004).

Indicios de estas relaciones se obtuvieron por un lado, al observar que los Ambientes con mayor nitrógeno, tanto por la agrupación en función de rendimiento medio como por el contenido de nitrógeno inicial, presentaban altas concentraciones de ceras con bajos peso de aceite por grano, por otro lado, por las correlaciones negativas de peso de aceite por grano con precipitaciones y HR.

C. Conclusiones

El peso de ceras por grano y su concentración en aceite demostraron ser características principalmente ligadas al Genotipo, el cual explicó una proporción significativamente mayor de la variabilidad total respecto a la explicada por el Ambiente. La respuesta de la concentración de ceras en aceite ante cambios en factores ambientales fue superior a la observada para peso de ceras por granos. Las interacciones Genotipo por Ambiente no fueron significativas en ninguna de las situaciones estudiadas (Objetivo 1 este Capítulo). Estos resultados corroboran, utilizando diferente metodología y a través de ensayos en diversos Ambientes, los resultados descritos en la bibliografía. Se identificó un cultivar con alta concentración de aceite y baja de cera, indicando variabilidad genética que permitiría seleccionar cultivares con esa característica valorada por la industria.

Los resultados observados corroboraron lo reportado en trabajos previamente realizados aunque con otra metodología de trabajo, que la deposición de ceras en el grano comienza en etapas tempranas del desarrollo del grano, sin diferenciación significativa entre ninguna de las etapas fenológicas evaluadas (Objetivo 2 este Capítulo).

Si bien no se pudo establecer una relación directa entre productividad y la concentración de ceras en aceite, se observó que condiciones ambientales que favorezcan granos con mayor contenido de aceite se corresponden con menores concentraciones de ceras en aceite. No se encontró un efecto directo del nitrógeno sobre el contenido de ceras en aceite, esta relación refleja el efecto sobre el peso de los granos del nitrógeno, tal lo discutido en el Capítulo 3 (Objetivo 3 este Capítulo).

No se observó relación entre la concentración de ceras en aceite con el peso de la cáscara ni de la aptitud al descascarado (objetivo 4 este capítulo).

En los capítulos siguientes se abordan otras características relacionadas a la calidad del aceite de girasol. Específicamente en el capítulo 4 se analizan los efectos de G, E y G×E sobre los fosfolípidos, utilizando una metodología semejante a la utilizada en el presente capítulo.

Capítulo 6

FOSFOLÍPIDOS

Fosfolípidos

En los capítulos 4 y 5 se estudiaron las características de calidad importantes para el procesamiento industrial del grano de girasol: porcentaje y peso de cáscara, aptitud al descascarado y concentración de ceras; en los tres capítulos siguientes se abordaran características de calidad relacionadas a la composición del aceite de girasol. En este capítulo se estudia, para los fosfolípidos del aceite, la contribución relativa del Genotipo, del Ambiente y de su interacción a la determinación de la cantidad de los fosfolípidos en aceite. Además, se analizan las respuestas de dicha variable a las condiciones ambientales imperantes en las diferentes etapas fenológicas en orden a identificar un período de máxima respuesta a las condiciones del Ambiente. Por último se evalúa la respuesta de esta variable a la variación combinada de factores ambientales y su relación con el rendimiento en aceite.

A. Introducción

Los fosfolípidos son compuestos que se componen de glicerol, dos ácidos grasos esterificados con el mismo y un grupo polar que tiene ácido fosfórico y un grupo nitrogenado o hidrato de carbono. Además de ser agentes emulsionantes, actúan sinergizando la actividad antioxidante de los tocoferoles (Judde *et al.*, 2003; Rahamatalla *et al.*, 2001). Son importantes en la alimentación, actuando sobre la síntesis y mantenimiento de membranas celulares (Carelli *et al.*, 2005; Triki *et al.*, 1997; Van der Merwe, 2010).

Altos niveles de fosfolípidos en aceite generan problemas durante el proceso de refinado debido a la formación de gomas (Froment *et al.*, 1999; Sharma *et al.*, 2009), además de afectar a la calidad final del aceite y al tiempo de almacenaje Pan *et al.* (2000).

En la literatura consultada no se identificaron estudios acerca del aporte relativo a la variabilidad total para el contenido de fosfolípidos en aceite de girasol del Genotipo, del Ambiente y su interacción. Por lo tanto su estudio constituiría un aporte novedoso al conocimiento existente, con posibles implicancias para la toma de decisiones en investigación y en manejo del cultivo.

En general se considera que la formación de lípidos polares, que incluyen a los fosfolípidos, se produce en los primeros estadios de formación del aceite, apareciendo como precursores de los triglicéridos (Triki *et al.*, 1997). Sin embargo el momento de desarrollo del cultivo en el cual se determina la concentración de fosfolípidos en aceite no está claramente definido. Por un lado Robertson *et al.* (1978) reportaron que la deposición de fosfolípidos se produjo durante todo el período de llenado de aquenios, alcanzando el máximo valor en madurez fisiológica. En cambio, Zlatanov *et al.* (2009) observaron, trabajando con híbridos alto oleico, que la concentración de fosfolípidos en aceite fue determinada, aproximadamente, en los primeros 15 días del período de llenado de aquenios. El primer fosfolípido que se sintetiza es el ácido fosfatídico (AP), precursor de los otros fosfolípidos (Zlatanov *et al.*, 2009), disminuyendo su concentración en el aceite a medida que avanza el llenado de los aquenios.

En la literatura consultada, no se identificaron trabajos dirigidos a determinar las fases fenológicas de máxima respuesta a los factores ambientales (período crítico), conocimiento que ayudan no solamente a la comprensión de los mecanismos y procesos involucrados en su determinación, sino que, además de asistir a la toma de decisiones para el manejo agronómico del cultivo, es información básica para la generación de modelos predictivos.

La participación relativa de los distintos compuestos fosfolipídicos varía de acuerdo al tipo de girasol. Para girasoles convencionales el orden sería fosfatidilcolina (PC) =43%, fosfatidiletanolamina (PE) =23,1% y fosfatidilinositol (PI) =20,9% (Carelli *et al.*, 1997; Pan *et al.*, 2000), para girasoles alto oleico sería PC≈38%, PI≈30% y PE≈18% (Zlatanov *et al.*, 2009). Los girasoles silvestres mostraron una amplia variación en el porcentaje relativo de cada compuesto, siendo AP el que presentó valores superiores. (Perez *et al.*, 2004).

Al analizar antecedentes sobre el tema en otros cultivos extensivos se encontraron referencias en lupino, para el cual se reportó que variaciones en la temperatura podrían producir cambios en la concentración de fosfolípidos, a menor temperatura mayor concentración de los mismos (Hamama y Bhardwaj, 2004), en este trabajo, al no hallar diferencias entre variedades los autores concluyeron que el factor Ambiental posee mayor efecto que el Genético en la determinación de la concentración de fosfolípidos. En cambio en lino se reportó que a mayor humedad durante el período de llenado de aquenios el contenido de fosfolípidos se incrementó. Dichos autores, además observaron diferencias entre los Genotipos (Froment *et al.*, 1999). Por otra parte, se encontró en algodón que la comparación de características químicas y bioquímicas del aceite reveló diferencias entre las variedades estudiadas para la concentración de fosfolípidos en aceite (Sharma *et al.*, 2009).

No se encontraron en girasol, ni en otros cultivos extensivos, estudios que consideren de manera conjunta los efectos del Genotipo, de las características del Ambiente y su interacción, a través de las diferentes etapas de desarrollo del cultivo, sobre la concentración de fosfolípidos en aceite, ni sus conexiones con el rendimiento y sus componentes.

Los objetivos de este capítulo, para la característica de concentración de fosfolípidos en aceite fueron:

1. Estudiar las contribuciones relativas de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E para la característica citada.
2. Identificar la etapa fenológica de máxima respuesta de esta característica de calidad al efecto de factores ambientales.
3. Estudiar la respuesta de esta característica de calidad a la variación combinada de factores ambientales, y establecer sus conexiones con el rendimiento y sus componentes, a fin de identificar combinaciones de factores ambientales y/o Ambientes y Genotipo que permitan obtener una combinación de características de calidad superior para un determinado uso.
4. Identificar el patrón de respuesta de los diferentes fosfolípidos ante cambios en las características del Ambiente.

B. Resultados y discusión

Los valores observados de fosfolípidos totales en aceite presentaron un valor medio de 0,12% y una mediana de 0,11%, el valor máximo observado fue 0,41% y el mínimo fue 0,01%, ajustándose a la curva de distribución normal (Tabla A3.1). Los valores de fosfolípidos totales en aceite obtenidos en este trabajo fueron sensiblemente inferiores a los citados por Zlatanov *et al.* (2009), los cuales refieren valores del orden del 2% y a los citados por Carelli *et al.* (1997), 0,7 a 1,2%. Por contraste están comprendidos entre los valores citados por Perez *et al.* (2004), para girasoles silvestres, los cuales crecieron en zonas de condiciones similares a las del presente trabajo.

El análisis de las diferentes fosfolípidos que constituyen los fosfolípidos totales reveló que AP (45,2% \pm 10,02) tuvo la mayor participación, seguido en orden relativo por PE (28,5% \pm 7,8%), PC (16,3% \pm 5,9%) y por PI (9,9% \pm 5,4%) (Anexo I, Tabla A3 1). Los valores correspondientes a los distintos fosfolípidos se ajustaron a la curva de distribución normal. La mayor proporción de AP coincide con lo reportado por Perez *et al.* (2004) para girasoles silvestres, con bajos contenidos de fosfolípidos totales. El orden relativo de los otros componentes coincide con lo reportado por Carelli *et al.* (1997) y por Pan *et al.* (2000). La concentración relativa de los diferentes fosfolípidos en aceite, se mantuvo constante al cambiar la concentración de fosfolípidos totales en el aceite (Figura 6.1).

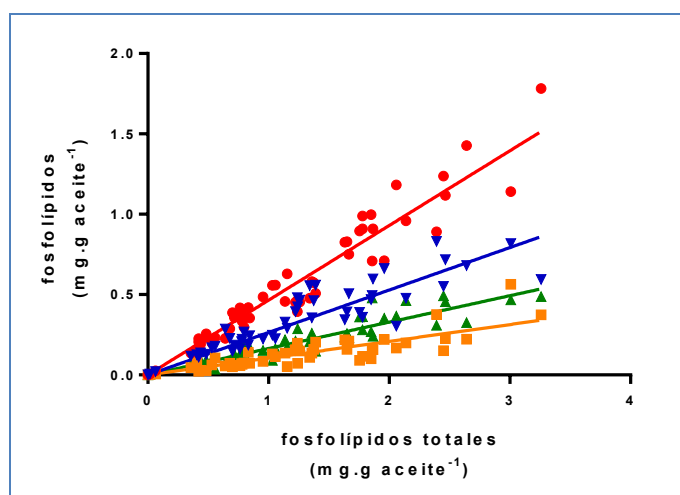


Figura 6. 1: Concentración de los diferentes fosfolípidos en aceite en función del cambio en la concentración de fosfolípidos totales en aceite. Cada símbolo representa al valor del compuesto fosfolípidos de referencia en cada localidad (11 locs por 5 cultivares $n=55$), los símbolos no diferencian entre cultivares. ● AP= $+0,465 \cdot \text{fosfolípidos (mg.g aceite}^{-1})$; ▲ PC= $+0,1644 \cdot \text{fosfolípidos (mg.g aceite}^{-1})$; ▼ PE= $+0,26422 \cdot \text{fosfolípidos (mg.g aceite}^{-1})$; ■ PI= $+0,1045 \cdot \text{fosfolípidos (mg.g aceite}^{-1})$. Todas las funciones ajustadas son altamente significativas ($p < 0.0001$). Las rectas son forzadas a pasar por 0, por lo cual no se determina el valor de R^2 .

1. Contribución relativa de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E - Determinación de la fase ontogénica de máxima respuesta al efecto combinado de factores ambientales

Los análisis de varianza realizados para la concentración de fosfolípidos totales en el aceite y de los diferentes fosfolípidos evaluados (Tabla A6.1), revelaron valores semejantes de captura de la variabilidad (67.7% a 72.1% de la SC, $p < 0.0001$). El Genotipo presentó un aporte a la variabilidad total inferior al del Ambiente tanto para la

concentración de fosfolípidos totales en aceite como para la concentración de cada uno de los diferentes fosfolípidos evaluados (Tabla A6.1 y Tabla A6.2).

Los cultivares evaluados presentaron diferencias significativas entre ellos; las mayores concentraciones de fosfolípidos totales en aceite se observaron en dos materiales, DK3820 y DK4200, difiriendo entre ellos en la concentración de aceite. La menor concentración se observó en DK3920, material con un contenido de materia grasa intermedia entre los dos cultivares anteriores. Los materiales restantes presentaron una posición intermedia, DK3880 sin diferencias significativas con el grupo de mayor concentración y DK4000 sin diferencias con el híbrido de menor contenido de fosfolípidos en aceite, estos cultivares son los que presentaron las menores concentraciones de materia grasa (Tabla A6.1 y (Tabla A5.1).

La concentración relativa de los distintos fosfolípidos en aceite varió a través de los cultivares (Tabla A6.1), revelando una interacción Genotipo por tipo de fosfolípidos altamente significativa ($p < 0.001$), aunque de magnitud absoluta relativamente baja ya que explicó el 3% de la variabilidad total. En la Figura 6.2 se representa, a efectos de visualizar fácilmente la relación entre fosfolípidos totales en aceite y los diferentes fosfolípidos con su concentración relativa en los diferentes cultivares, un análisis de componentes principales para los efectos del Genotipo y de la interacción (Crossa, 1998; Crossa *et al.*, 2002). Se observó que DK3880 presentó valores superiores de PC y PE, en cuanto DK4200 presentó valores superiores de AP y PI. DK4000 y DK3920 presentaron las menores concentraciones de fosfolípidos totales en aceite y de los diferentes fosfolípidos.

Si bien el efecto del Genotipo explicó una baja proporción de la variabilidad total (11% de la SC), los resultados indican variabilidad entre Genotipos, tanto para la concentración de fosfolípidos en aceite como para concentración relativa de cada tipo de fosfolípidos.

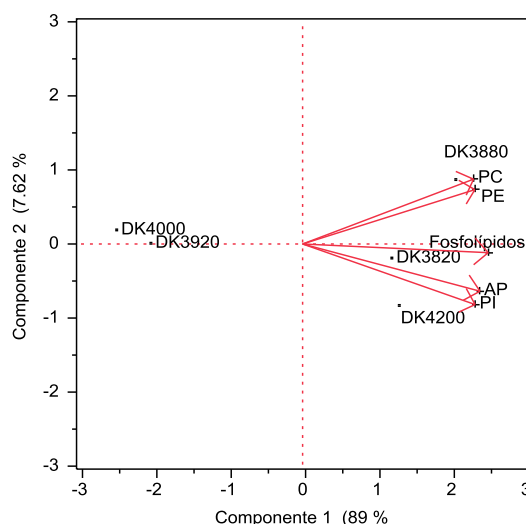


Figura 6.2: Ubicación en el biplot de los Genotipos evaluados, representados como puntos y de los diferentes compuestos fosfolípidos, representados como vectores, obtenidos por el análisis de componentes principales. Variabilidad total explicada 96,6% ($p < 0,0001$).

La correlación de fosfolípidos totales con proteínas en grano ($R=0,35$, $p=0,0098$, $n=55$) fue directa y significativa, mientras que la correlación con la concentración de

ceras en aceite fue también significativa pero inversa ($R=-0,46$, $p=0,0004$, $n=55$). Las correlaciones con el porcentaje de aceite en grano ($R=-0,196$, $p=0,1681$, $n=55$) no fueron significativas, y lo mismo ocurrió con el porcentaje carbohidratos en grano ($R=-0,13$, $p=0,3325$, $n=55$) (Tabla A6.3).

El análisis de la interacción Genotipo por Ambiente a través de las agrupaciones seleccionadas en el capítulo 3 no revelaron efectos $G \times E$ significativos, con la excepción del compuesto PI en la agrupación por zonas agroecológicas (Tabla A6.1). Para este compuesto los valores correspondientes a la suma de cuadrados de la interacción (21%) fueron superiores al observado para el Genotipo (18%).

El análisis de la diferencias de medias entre híbridos, para el compuesto PI, realizado para cada una de las zonas agroecológicas demostró que la diferencia de respuesta se manifestó en la zona NEA, donde los híbridos DK3820 y DK4200 presentaron valores superiores al resto. Mientras que, y por contraste, en las zonas Oeste y Sur no se observó diferencias significativas entre los híbridos (Figura 6.3). Esta respuesta diferencial de híbridos en la zona NEA sugeriría que existe variabilidad genética en la respuesta de los cultivares ante cambios en características ambientales.

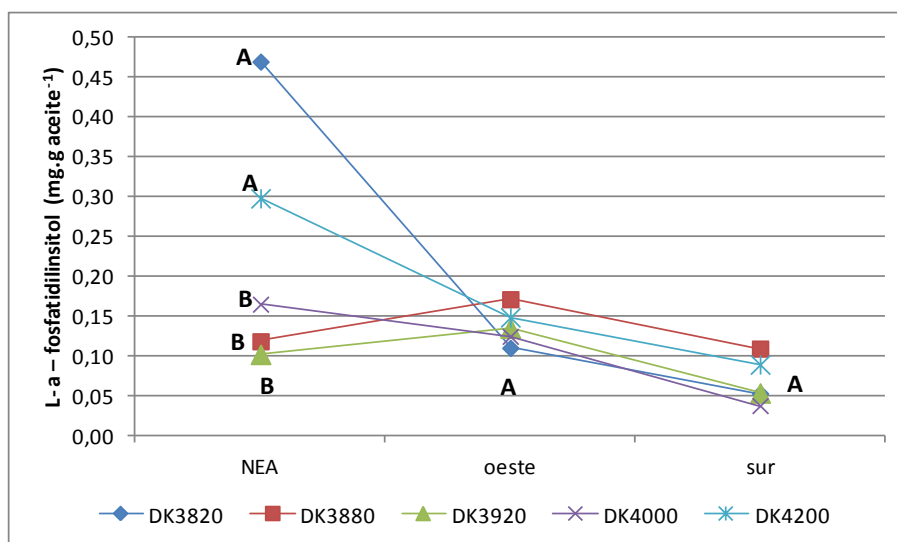


Figura 6.3: Representación gráfica del análisis de comparación de medias de los cultivares para la concentración del compuesto PI en aceite, para cada grupo dentro de la agrupación por el criterio de zonas agroecológicas. Los símbolos representan el valor medio de cada cultivar en cada grupo. Las líneas que unen los valores medios son referenciales. Letras diferentes, dentro de cada nivel de zona agroecológica, representan diferencias significativas ($p<0,05$) según el test de Tukey.

El efecto conjunto de las variables ambientales sobre la concentración de fosfolípidos en aceite demostró su máxima incidencia en el período $R5+100^{\circ}\text{Cd}$. El máximo efecto de la temperatura, factor ambiental con la mayor incidencia sobre esta característica, fue observado en la misma etapa fenológica. El mayor efecto de la HR, segundo factor en relevancia, fue observado en la etapa $R5+100-300^{\circ}\text{Cd}$ (Tabla A6.2).

Si bien no se encontraron en la literatura trabajos orientados a determinar el momento de máximo efecto de los factores ambientales, en general hay coincidencia en que la síntesis de fosfolípidos se produce en los primeros estadios de desarrollo del grano (Triki *et al.*, 1997; Zlatanov *et al.*, 2009). En base a estos resultados se podría estimar que la concentración de fosfolípidos fue determinada, mayormente, en etapas tempranas post floración, coincidente con lo reportado por Zlatanov *et al.* (2009), los

cuales informaron que la concentración de fosfolípidos se estableció en los primeros 15 días desde floración. Los diferentes fosfolípidos presentaron una respuesta similar a los factores ambientales. En el anexo I (Tablas A6.4, A6.5, A6.6 Y A6.7) se presentan los análisis de regresión multivariada para cada uno de ellos.

2. Respuesta de la concentración de fosfolípidos en aceite a la variación del rendimiento en aceite, del peso y número de granos y de los factores ambientales en forma combinada.

a) Relación con el rendimiento en aceite, peso y número de granos.

Se encontraron evidencias de relaciones entre la concentración de fosfolípidos totales en el aceite con el rendimiento en aceite a través del análisis de la varianza y del análisis de correlación; estas relaciones podrían estar reflejando el efecto de la temperatura, tanto sobre el número de granos como sobre la concentración de fosfolípidos en aceite.

Si bien concentraciones superiores de fosfolípidos totales en aceite, así como de los compuestos PE y PI, fueron encontradas en Ambientes de menor productividad con respecto a los Ambientes de “alta” productividad (Tabla A6.1), esta respuesta estuvo influenciada por las localidades de la zona NEA; al retirarlas del análisis el efecto del índice ambiental dejó de presentar un efecto significativo ($p > 0,05$).

Las correlaciones, negativas, observada entre fosfolípidos totales en aceite con el rendimiento en aceite ($R = -0,37$, $p = 0,0049$, $n = 55$) y con el número de granos ($R = -0,49$, $p < 0,0001$, $n = 55$) reflejaron el efecto de la temperatura. Los coeficientes de paso directos no fueron significativos ($< -0,12$), presentando valores elevados de coeficientes de paso indirectos a través de temperatura ($> -0,29$), factor que presentó un fuerte efecto directo sobre la concentración de fosfolípidos en aceite (Figura 6.4).

Se observó que a mayor peso de granos, mayor concentración de fosfolípidos en aceite ($R = 0,34$, $p = 0,010$, $n = 55$). Esta relación refleja el efecto de los factores ambientales incluidos en el modelo, nitrógeno, temperatura y HR, sobre el peso de los granos (demostraron efecto directo sobre ambas características), discutido en el Capítulo 3 y no un efecto directo (Figura 6.4).

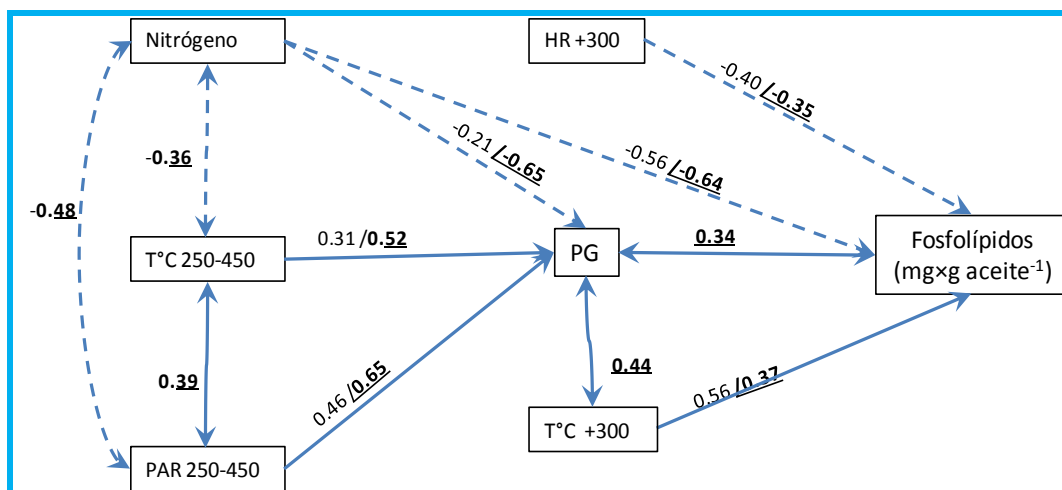


Figura 6.4: Representación esquemática de las relaciones causa/efecto sobre la concentración de fosfolípidos en aceite, para la etapa fenológica R5+250-450°Cd, de características fenotípicas y factores ambientales determinadas por el análisis de correlaciones simples y parciales. Términos de coeficientes de correlación parcial (efectos directos) son representados por vectores unidireccionales y por valores sin subrayar. Coeficientes de correlación de Pearson representados por arcos bi-direccionales y/o por valores subrayados. Líneas continuas representan relaciones directas, líneas punteadas relaciones inversas. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta figura.

b) Efecto de las condiciones ambientales sobre la concentración de fosfolípidos en función de las zonas agroecológicas

La concentración de fosfolípidos totales y de los diferentes compuestos fosfolípidos en el aceite presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre zonas agroecológicas. Los mayores valores de fosfolípidos se encontraron en la zona NEA, seguida por la zona OESTE y los menores valores en la zona SUR. Los diferentes fosfolípidos presentaron el mismo patrón de respuesta (Tabla A6.1).

De manera semejante a lo observado para la agrupación de Ambientes en función de rendimiento, el patrón de respuesta de los fosfolípidos en aceite a las zonas agroecológicas estuvo relacionado al efecto de la temperatura. Las regiones con mayores temperaturas (Tabla A3.2) fueron las que presentaron valores superiores de fosfolípidos.

c) Efecto del contenido de nitrógeno inicial sobre la concentración de fosfolípidos en aceite

El contenido de fosfolípidos en aceite presentó una relación negativa con el nitrógeno inicial en el suelo. Esta relación fue observada por el análisis de la agrupación de Ambientes en función del nitrógeno inicial, por el análisis de partición recurrente y por análisis de correlación. El grupo “bajo” de la agrupación de Ambientes por nitrógeno exhibió mayor concentración de fosfolípidos totales en el aceite y de los diferentes fosfolípidos en aceite respecto a los otros dos grupos, los cuales no presentaron diferencias significativas entre ellos (Tabla A6.1). Esta diferencia no pudo ser asociada a ninguna de las características climáticas ni de cultivo incluidas en la caracterización de estos grupos (Tabla A3.6).

El análisis de sendero, reveló un efecto directo negativo del nitrógeno (coef. de paso directo=-0,56), sin incidencias significativas de otras variables ambientales, lo cual

terminó con la expresión de un coeficiente de Pearson altamente significativo ($R=-0,64$, $p<0,0001$, $n=55$).

La proyección de los datos indicó que en función del nitrógeno se generaron dos tipos de Ambientes, particionados a partir de los $56,5 \text{ kg de N.ha}^{-1}$, valor de partición observado tanto al graficar los datos (Figura 6.5) como al utilizar el método de análisis de partición recurrente (Figura 6.6), que explicó en la primera partición el 49% de la variabilidad total, como en los análisis del efecto del nitrógeno sobre el rendimiento (Figura 3.3 y Figura 3.4). Dentro de cada grupo de Ambientes alto y bajo N (particionados por el valor de $56,5 \text{ kg de N.ha}^{-1}$) no se observó respuesta al nitrógeno.

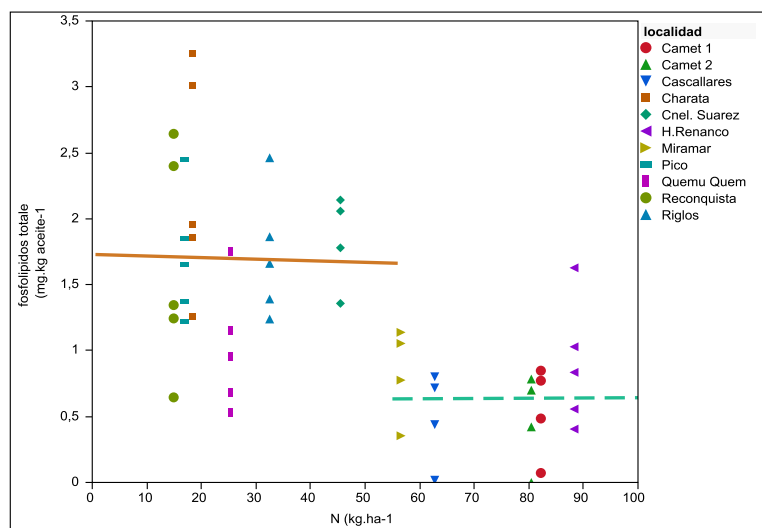


Figura 6.5: Variación de la concentración de fosfolípidos totales en el aceite en función del nitrógeno inicial disponible en el suelo. Se generaron dos modelos, los cuales no fueron significativos, con pendiente de la recta semejante a 0, por lo cual las líneas son referenciales: línea partida: Ambientes con alto contenido de nitrógeno inicial ($p=0,9742$); línea continua: Ambientes con bajo contenido de nitrógeno inicial ($p=0,9181$). Símbolos de colores identifican a la localidad y la dispersión de valores dentro de cada una por efecto Genotipo. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de las abreviaturas utilizadas en esta figura.

La agrupación de localidades con alto y con bajo N no estuvo relacionada a zonas agroecológicas; el grupo alto N incluyó a localidades del SUR y del OESTE y el de bajo N agrupó a localidades de las tres zonas. Al comparar las características de ambos grupos, alto y bajo N, se observó que el grupo con alto N y baja concentración de fosfolípidos en aceite presentó rendimientos en aceite superiores, con menor peso de granos, menor peso de aceite por grano, menor contenido de proteínas por grano y ácido oleico, así como superior contenido de ceras en aceite, sin diferencias en el % de aceite del grano, con respecto al otro grupo. Dentro del conjunto de características de Ambiente se observó que el grupo alto N presentó menores valores de temperaturas, PAR, CQ y agua útil disponible, así como valores superiores de HR. Exceptuando a Huinca Renanco, este grupo de localidades fue el que presentó una respuesta superior en rendimiento ante valores de igual ETC (Figura 3.2). Las respuestas de los diferentes fosfolípidos en aceite al contenido inicial de nitrógeno fueron semejantes a la observada para la concentración de fosfolípidos totales en el aceite.

Los resultados obtenidos sugieren un efecto negativo del nitrógeno sobre la concentración de fosfolípidos en aceite relacionado a las características climáticas descriptas; las cuales presentaron un alto grado de asociación con el N, no permitiendo incluirlo en el modelo de análisis de regresión multivariada (los VIF presentaban valores superiores a 2,5). En la literatura consultada no se encontraron referencias a la relación entre fosfolípidos y nitrógeno.

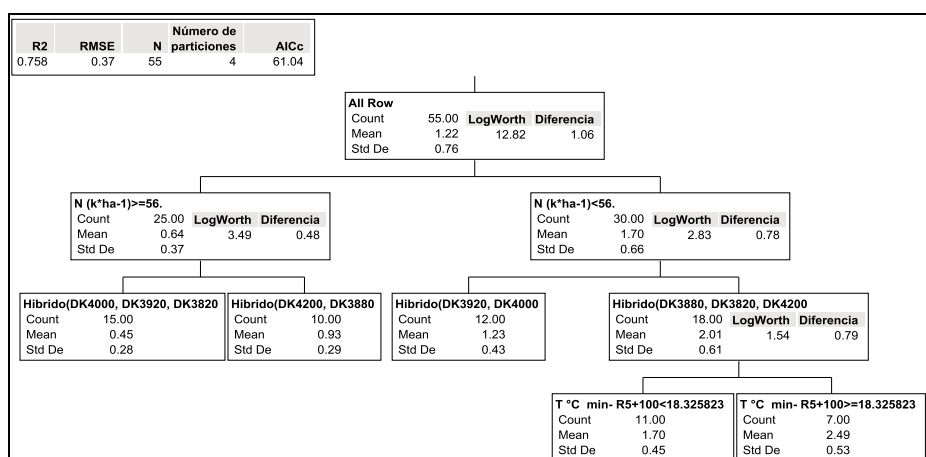


Figura 6.6: Partición dicotómica de los valores observados de concentración de fosfolípidos en aceite en función de Genotipos y de datos observados de características fenotípicas y de factores ambientales, generado por el método de partición recurrente. Cada rectángulo indica el nombre de la característica y valor de la misma en función de la cual se generó la partición, el número total de observaciones involucradas en cada grupo (count), el valor medio del grupo (mean) y su desvío estándar (Std Dev), así como la amplitud de los valores observados dentro de cada grupo (diferencia) cuando este fue vuelto a subdividir. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta figura.

d) Efecto de los factores ambientales

La característica ambiental que mayor efecto presentó sobre la concentración de fosfolípidos en aceite fue la temperatura ($T^{\circ}\text{C min R5}+250\text{-}450^{\circ}\text{Cd}$, $R=0,37$, $p=0,0058$, $n=55$, Figura 6.4), tanto por el nivel de variabilidad explicado, como por ser la única característica con efecto significativo durante todos los períodos de desarrollo evaluados. La mayor incidencia de la temperatura se observó en el período $R5+100^{\circ}\text{Cd}$, donde explicó el 35% de la suma de cuadrados ($p<0,0001$, Tabla A6.2). En este período se observó, también, interacción significativa ($p=0,027$) híbrido por temperatura mínima, la cual explicó un 7,1% de la suma de cuadrados.

El análisis de la interacción demostró que DK3880 y DK3920 no respondieron ante cambios en la temperatura. El resto de los híbridos evaluados presentaron una relación positiva, significativa, sin diferencias entre ellos en la tasa de respuesta ante cambios en la temperatura (Figura 6.7). La interacción Genotipo por temperatura presentó patrones de respuestas semejantes en los distintos compuestos fosfolípidos, con la excepción de PI, en el cual la interacción fue significativa en todas las etapas fenológicas evaluadas a partir de R1.

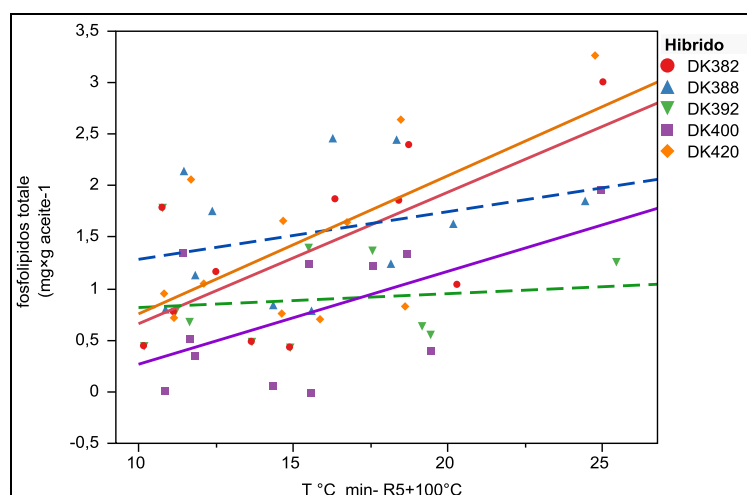


Figura 6.7: Respuesta de la concentración de fosfolípidos totales en el aceite ante cambios en la temperatura mínima en la etapa fenológica R5.5+100°Cd para cada uno de los Genotipos evaluados, identificados por símbolos y líneas de regresión con los mismos colores. DK3820 ● ($R^2=0,473$; $p<0,019$; intercepción= $-0,617\pm0,73$; pendiente = $0,128\pm0,045$; $n=55$) DK3880 ▲ ($R^2=0,094$; $p=0,359$; intercepción= $0,823\pm0,781$; pendiente = $0,046\pm0,047$; $n=55$, modelo no significativo, línea referencial) DK3920 ▼ ($R^2=0,017$; $p=0,695$; intercepción= $0,683\pm0,533$; pendiente = $0,0134\pm0,033$; $n=55$, modelo no significativo, línea referencial) DK4000 ■ ($R^2=0,336$; $p=0,05$; intercepción= $-0,635\pm0,681$; pendiente = $0,09\pm0,04$; $n=55$) DK4200 ◆ ($R^2=0,418$; $p=0,031$; intercepción= $-0,585\pm0,839$; pendiente = $0,134\pm0,053$; $n=55$). Los símbolos representan a los diferentes cultivares, en cada una de las localidades.

La HR presentó una relación negativa con la concentración de fosfolípidos totales en el aceite (etapa R5+300°Cd, $R=-0,35$, $p=0,0087$, $n=55$, Figura 6.4); la cual se observó durante las etapas fenológicas evaluadas a partir de R5 y hasta la etapa de R5+300°Cd, con un peso sobre la variabilidad total semejante a través de las diferentes etapas evaluadas (Tabla A6.2). Los distintos compuestos fosfolípidos en aceite presentaron respuestas semejantes (Anexo I, Tablas A6.3 A6.4, A6.5, A6.6 Y A6.7).

La correlación entre fosfolípidos totales en aceite y agua útil disponible no fue significativa (etapa R5+250-450°Cd, $R=-0,19$, $p=0,1684$, $n=55$). En el análisis de regresión multivariada este factor ambiental presentó efectos negativos, con la mayor incidencia en el período R5+250-450°Cd, explicando el 9,9% de la suma de cuadrados. Estos resultados no son coincidentes con los reportados para trigo, donde se encontró que la mejor disponibilidad hídrica, por riego, incrementó el contenido de fosfolípidos en aceite (Wang *et al.*, 2013).

La concentración de fosfolípidos totales en el aceite presentó una leve correlación, positiva, con el PAR (etapa R5+300°Cd, $R=0,28$, $p=0,037$, $n=55$), no identificándose efecto significativo de esta variable ambiental por el análisis de regresión multivariada (Tabla A6.2). Los diferentes fosfolípidos respondieron de manera semejante, con la excepción de PE el cual presentó una correlación altamente significativa ($R=0,45$, $p=0,0003$, $n=55$) con el PAR, mostrando por el análisis de regresión multivariada, con un mayor efecto en la etapa R5+250-450°Cd, que explicó el 12,4% de la SC (Tabla A6.3).

Los resultados observados sugieren que el período de máxima respuesta de la concentración de fosfolípidos en aceite al efecto de los factores ambientales varía de acuerdo a los factores involucrados. Para temperatura la mayor respuesta se observó en etapas tempranas (R5+100°Cd), La HR reveló efecto durante el período R5+300°Cd y el agua útil y el PAR lo presentaron en la etapa R5+250-450°Cd.

Los resultados obtenidos sugieren que la concentración de fosfolípidos en aceite de girasol se incrementaría ante situaciones de estrés. Resultados semejantes fueron observados en lino (Froment *et al.*, 1999) y en lupino (Sharma *et al.*, 2009); en cambio en trigo se observó que mejores condiciones de cultivo incrementan la concentración de fosfolípidos en aceite (Wang *et al.*, 2013).

Bajas concentraciones relativas de fosfolípidos en aceite se lograrían en base a la correcta selección del material genético a sembrar y la ubicación del cultivo en Ambientes que permitan obtener alto número de granos con bajo peso. Esta situación es semejante a las encontradas en los buenos Ambientes productivos de la zona SUR.

C. Conclusiones

La contribución del Genotipo a la variabilidad total para los fosfolípidos en el aceite fue inferior a la del Ambiente; no obstante su baja variabilidad se observaron diferencias significativas entre los cultivares evaluados, tanto en el contenido relativo de fosfolípidos totales en el aceite como en su composición, indicando interacción entre Genotipo y componentes de fosfolípidos en aceite. Se observaron interacciones significativas G×E, explicadas principalmente por respuestas diferenciales de los cultivares a cambios en la temperatura. La fracción PI fue la que presentó mayor participación relativa de la interacción sobre la variabilidad total. Los puntos anteriores sugieren variabilidad genética para estas características (Objetivo 1 de este Capítulo).

Se encontraron evidencias que el contenido de fosfolípidos se determinaría en etapas tempranas, la máxima respuesta al conjunto de características del Ambiente se observó en la etapa R5+100°Cd. Los resultados observados sugieren que el período de máxima respuesta de la concentración de fosfolípidos en aceite al efecto de los factores ambientales varía de acuerdo a los factores involucrados. Para temperatura la mayor respuesta se observó en etapas tempranas (R5+100°Cd), mientras que la HR reveló efecto durante el período R5+300°Cd y el agua útil y el PAR lo presentaron en la etapa R5+250-450°Cd. La determinación de los períodos críticos en función de diferentes factores ambientales no ha sido publicada con anterioridad (Objetivo 2 este Capítulo).

Con el conjunto de situaciones evaluadas no pudo determinarse un efecto de la productividad ambiental sobre el contenido de fosfolípidos en aceite, aunque se encontraron evidencias que sugieren que situaciones de estrés podrían incrementar el contenido de fosfolípidos totales en el aceite. El número de granos por unidad de superficie presentó respuestas semejantes al índice de productividad media (Objetivo 3 este Capítulo).

El contenido de nitrógeno inicial del suelo presentó relación negativa con la concentración de fosfolípidos en aceite. En función del nitrógeno se generaron dos grupos, los Ambientes de mayor contenido de nitrógeno, superior a 56,5 k de N.ha⁻¹, presentaron valores inferiores de fosfolípidos en aceite respecto al grupo de menor N; dentro de cada agrupación de Ambientes no se observó efecto del nitrógeno. Los resultados obtenidos sugieren un efecto combinado entre el nitrógeno y las características climáticas, que debería investigarse en futuros trabajos.

La temperatura fue la característica ambiental que demostró mayor efecto sobre la concentración de fosfolípidos en aceite; fue la única característica con efecto significativo durante todos los períodos de desarrollo evaluados. Los cultivares presentaron respuestas diferenciales a su efecto. No se identificaron efectos

significativos del PAR sobre la concentración de fosfolípidos en aceite, excepto para la fracción PE, en la etapa R5+250-450°Cd, donde se observó una relación directa. Los distintos fosfolípidos en aceite evaluados respondieron de manera similar a la observada para fosfolípidos totales en general, con la salvedad de la fracción PE en relación al PAR (Objetivo 4 este Capítulo).

Los fosfolípidos actuarían como catalizadores del efecto de los tocoferoles sobre la estabilidad oxidativa del aceite (Judde *et al.*, 2003; Rahamatalla *et al.*, 2001). En el capítulo 7 analizamos a los tocoferoles con objetivos y metodologías semejantes a la utilizada en el presente capítulo. En el capítulo 9 se incluye, además, el objetivo de validar el efecto sinérgico de los fosfolípidos sobre la actividad de los tocoferoles sobre la estabilidad oxidativa del aceite, en condiciones de cultivo.

Capítulo 7

TOCOFEROLES

Tocoferoles

En el Capítulo 6, se observó, para la concentración de fosfolípidos en aceite una mayor contribución del Ambiente a la variabilidad total, y diferencias significativas entre los cultivares evaluados y la interacción G×E, explicada mayormente por una respuesta diferencial de los cultivares evaluados a la temperatura. El período crítico general fue identificado en las etapas tempranas post floración, con diferencias en las etapas en las cuales cada factor ambiental presentó su mayor influencia. En el presente capítulo se estudia, para el contenido de tocoferoles en aceite, una de las características que contribuyen a la estabilidad del aceite, la contribución relativa del Genotipo, del Ambiente y de su interacción. Además, se analizan las diferentes etapas fenológicas en orden a identificar un período de máxima respuesta a las condiciones del Ambiente. Por último se estudia la respuesta del contenido de tocoferoles a la variación combinada de factores ambientales y su relación con el rendimiento.

A. Introducción

Los tocoferoles (derivados del 2-metil-6-hidroxicromano) son antioxidantes naturales que actúan sobre los radicales libres, producto de la auto-oxidación del aceite, retardando así el deterioro de la calidad nutricional e industrial (enranciamiento del aceite). Poseen además una importante función como precursores de la vitamina E, indispensable para la nutrición humana, cuyo papel biológico más importante es proteger a los ácidos grasos poliinsaturados, como así también, a otros compuestos de las membranas celulares y a las lipoproteínas de baja densidad (LDL) de la oxidación por radicales libres. Cuanto mayor es la cantidad de ácidos grasos poliinsaturados en la dieta, mayor es el requerimiento de tocoferoles; sugiriéndose una relación superior a 0,6µg de tocoferol por gramo de ácidos grasos poliinsaturados (Izquierdo *et al.*, 2007; Izquierdo *et al.*, 2011).

En girasol se encontraron cuatro formas homólogas de tocoferoles que se diferencian en el número o en la posición del grupo metilo: alfa (α) = 5.7.8 Trimethyl Alpha-Tocopherol; beta (β) = 5.8 Dimethyl Beta-Tocopherol; gamma (γ) = 7.8 Dimethyl-Gamma-Tocopherol y delta (δ)= 8 Methyl-Delta-Tocopherol los cuales presentan diferentes actividades como vitamina o como antioxidante (Demurin *et al.*, 1996).

En los girasoles convencionales, la fracción de mayor proporción es α -tocopherol, con valores superiores al 90% del contenido total de tocoferoles; el contenido de β -tocopherol fluctúa entre 10% a valores cercanos a cero; para el contenido de las otras fracciones se reportaron trazas o ausencia de las mismas (Izquierdo *et al.*, 2011; Nolasco *et al.*, 2004; Velasco y Fernández-Martínez, 2012; Velasco *et al.*, 2002; Zlatanov *et al.*, 2009).

La concentración de tocoferoles en aceite presenta una amplia variabilidad, reportándose valores entre 500 a 1857 µg.g aceite⁻¹ (Alpaslan y Gündüz, 2000; Dolde *et al.*, 1999; Izquierdo *et al.*, 2007; Nolasco *et al.*, 2004; Velasco *et al.*, 2002), con valores por grano de 6,6 a 20 µg.grano⁻¹ (Izquierdo *et al.*, 2011).

La variabilidad en la concentración de tocoferoles en aceite encontrada en diferentes estudios fue atribuida principalmente al efecto del Genotipo (Alpaslan y Gündüz, 2000; Ayerdi Gotor *et al.*, 2006; Del Moral *et al.*, 2011; Dolde *et al.*, 1999; Nolasco *et al.*, 2004; Velasco y Fernández-Martínez, 2012), con interacción Genotipo por Ambiente significativa (Anastasi *et al.*, 2010; Dolde *et al.*, 1999; Velasco y Fernández-Martínez, 2012; Velasco *et al.*, 2002). No obstante, para otros autores el efecto de esta interacción no fue significativo (Ayerdi Gotor *et al.*, 2006; Izquierdo *et al.*, 2007; Nolasco *et al.*, 2004).

Existen algunos estudios acerca del efecto relativo del Genotipo y del Ambiente sobre la concentración de tocoferoles en el aceite de otros cultivos. Por ejemplo en canola se reportó que el efecto del Ambiente fue superior al del Genotipo, con una fuerte interacción G×E (Marwede *et al.*, 2004). En algodón no se encontraron diferencias entre cultivares; el efecto del Ambiente fue diferente para las distintas fracciones evaluadas, α y δ - tocoferol presentaron diferencias entre años y β y γ tocoferol entre localidades. Las interacciones G×E no fueron significativas (Smith y Creelman, 2001).

Aunque se han realizado estudios para identificar la contribución relativa del Genotipo, del Ambiente y de su interacción sobre la concentración de tocoferoles en aceite, en girasol no se identificó ninguno que considere la variación conjunta de factores ambientales. El estudio de estas cuestiones constituiría un aporte novedoso al conocimiento existente, con posibles implicancias para la toma de decisiones en investigación por ejemplo la evaluación de opciones para la mejora genética o el manejo agronómico del cultivo con el objetivo de obtener una determinada calidad.

En general hay coincidencia en que la síntesis de tocoferoles se produce al mismo momento que la síntesis de aceite, tanto para girasol (Ayerdi Gotor *et al.*, 2006; Baydar y Erbas, 2005; Nolasco *et al.*, 2004), como en soja (Almonor *et al.*, 1998); habiéndose encontrado evidencias que las vías biosintéticas involucradas son total o parcialmente diferentes (Nolasco *et al.*, 2004). Si bien algunos autores refieren que los tocoferoles se generarían durante todo el período de llenado de aquenios (Izquierdo *et al.*, 2007; Velasco y Fernández-Martínez, 2012), el momento de mayor deposición podría estar comprendido, aproximadamente, entre 10 a 35 días desde floración (Baydar y Erbas, 2005; Dong *et al.*, 2007; Zlatanov *et al.*, 2009); siendo, probablemente, este momento el de mayor susceptibilidad a cambios en las condiciones del Ambiente.

Frecuentemente los trabajos realizados con anterioridad para determinar el período crítico de tocoferoles consideraron los factores ambientales en forma individual, trabajando en situaciones controladas, en cámaras o en experimentos de campo, aplicando tratamientos para la manipulación de uno o dos (como máximo) factores a la vez. Las búsquedas bibliográficas efectuadas no permitieron identificar trabajos dirigidos a determinar las fases fenológicas de máxima respuesta de la concentración de tocoferoles en aceite a efectos combinados de factores ambientales potencialmente importantes. Contar con este conocimiento ayudaría a la comprensión de los mecanismos y procesos involucrados en la determinación de tocoferoles. Además el mismo sería de utilidad para asistir a la toma de decisiones para el manejo agronómico del cultivo y constituiría información básica para la generación de modelos predictivos.

La información disponible sobre la relación del nivel productivo del Ambiente con la concentración de tocoferoles en aceite es escasa y contradictoria. Por un lado se hallaron evidencias de una relación negativa entre la productividad ambiental y la

concentración de tocoferoles en aceite (Anastasi *et al.*, 2010; Nolasco *et al.*, 2004), resultados que concuerdan con los reportados para algodón (Ahmad *et al.*, 2007), y para festuca (Zhang y Schmidt, 2000). Por otro lado, Velasco *et al.* (2002) no encontraron una relación significativa entre rendimiento y tocoferoles en aceite.

Las condiciones ambientales que favorecen el incremento de la concentración de aceite, serían las mismas que favorecen la síntesis de tocoferoles, pero este último presentaría una tasa de acumulación menor. Por ello la concentración relativa de tocoferoles en aceite disminuiría con la mejora de las condiciones ambientales (Izquierdo *et al.*, 2011). En base a lo anteriormente expuesto la disminución en la concentración de tocoferol en aceite podría estar relacionada, principalmente, a cambios en la concentración de aceite más que al efecto del Ambiente sobre su síntesis (Izquierdo *et al.*, 2011; Nolasco *et al.*, 2004). Otros autores no hallaron relación directa entre la concentración de aceite con la concentración de tocoferoles en la misma (Dong *et al.*, 2007; Velasco *et al.*, 2002).

El efecto sobre el contenido de tocoferoles en aceite de los factores ambientales es menos conocido que el efecto de los mismos sobre la composición ácida, la concentración de aceite o sobre rendimiento. El efecto del nitrógeno sobre la concentración de tocoferoles en aceite ha sido escasamente estudiado. Se reportan respuestas positivas a la fertilización nitrogenada en colza (Egesel *et al.*, 2008) y en olivos (Fernández-Escoba *et al.*, 2004). En girasol no se encontraron referencias sobre el efecto de la disponibilidad de nitrógeno en la concentración de tocoferoles en aceite.

La mayoría de los trabajos consultados sobre girasol sostienen en general que aumentos en la temperatura se traducen en menor concentración de tocoferoles en aceite (Ayerdi Gotor *et al.*, 2006; Dolde *et al.*, 1999; Dong *et al.*, 2007; Izquierdo *et al.*, 2007; Velasco y Fernández-Martínez, 2012), generalmente sin interacción significativa con el Genotipo. En cambio otros autores refieren que las variaciones en la concentración de tocoferoles en aceite no está relacionada con la temperatura (Beringer y Saxena, 1968; Nagao y Yamazaki, 1983).

En otros cultivos los resultados también fueron divergentes. Por un lado Almonor *et al.* (1998) y Carrera *et al.* (2011) reportaron, en soja, una relación directa entre tocoferoles en aceite y temperatura, por otro Vlahakis y Hazebrook (2000) encontraron una relación inversa. En canola, también se reportó una relación inversa (Marwede *et al.*, 2004).

El efecto de la radiación interceptada sobre estos componentes del aceite ha sido menos estudiado que el efecto de la temperatura. La concentración de tocoferoles en aceite estuvo negativamente correlacionada con la radiación incidente en girasol (Nolasco *et al.*, 2004), así como en soja, colza y maíz (Izquierdo *et al.*, 2011). Otros trabajos reportan que esta relación puede ser positiva, dependiendo del cultivar (Velasco y Fernández-Martínez, 2012). No todos los híbridos de girasol reaccionarían de la misma manera a variación en el PAR interceptado, lo que sugiere que habría interacción Genotipo por Ambiente (Beringer y Dampert, 1976; Nolasco *et al.*, 2005).

Anastasi *et al.* (2010), estudiando el efecto del agua disponible (lluvia más riego) durante el ciclo de cultivo sobre la concentración de tocoferoles en aceite, encontraron respuestas diferenciales en función de los híbridos evaluados. Un material con alto contenido de tocoferoles en aceite en Ambientes de baja disponibilidad de agua, mostró que a medida que el agua disponible aumentaba, su concentración de

tocoferoles en aceite disminuía. Por contraste, el otro cultivar estudiado, con bajo contenido de tocoferoles en aceite en Ambientes de baja disponibilidad de agua, mostró que al incrementarse el agua disponible aumentó su concentración hasta un máximo de 350 mm, valor a partir del cual la respuesta fue negativa. Por otra parte, en algodón (Ahmad *et al.*, 2007) y en festuca (Zhang y Schmidt, 2000) se reportó que antes condiciones de deficiencias de agua el contenido de tocoferoles en aceite se incrementó.

Al analizar la respuesta de los diferentes isómeros de tocoferoles ante cambios en las condiciones ambientales, los trabajos consultados llegaron a diferentes conclusiones, por un lado que las respuestas de los mismos fueron semejantes (Izquierdo *et al.*, 2007; Izquierdo *et al.*, 2011) y por otro que las respuestas difieren entre las diferentes isómeros (Velasco y Fernández-Martínez, 2012; Velasco *et al.*, 2002). Asimismo en soja la respuesta a la temperatura fue diferente para los distintos isómeros (Carrera *et al.*, 2011).

En la bibliografía consultada no se encontraron estudios, para girasol y otros cultivos extensivos, que consideren de manera conjunta los efectos del Genotipo, de las características del Ambiente y de su interacción, a través las diferentes etapas de desarrollo del cultivo, sobre la concentración de tocoferoles en aceite y las conexiones de la misma con el rendimiento y sus componentes. Asimismo, no se encontraron trabajos previos que combinen información proveniente de una red de ensayos que cubran un rango importante de localidades, con un registro robusto de información climática y de fenología del cultivo.

Dado que la demanda de uso de los tocoferoles como antioxidantes naturales se incrementa, es económica y agronómicamente importante determinar el rango de composición y factores que afectan sus niveles en los cultivos (Dolde *et al.*, 1999). A través del mejoramiento genético y/o de prácticas de manejo sería posible producir aceite de girasol con mayor concentración de tocoferoles en aceite.

El objetivo de este capítulo, para las características de concentración de tocoferoles en aceite y en los akenios fue:

1. Estudiar las contribuciones relativas de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E sobre las características citadas.
2. Identificar la etapa fenológica de máxima respuesta de estas características de calidad al efecto combinado de factores ambientales.
3. Estudiar la respuesta de estas características de calidad a la variación combinada de factores ambientales, y establecer sus conexiones con el rendimiento y sus componentes, a fin de identificar combinaciones de factores ambientales y/o Ambientes y Genotipo que permitan obtener una combinación de características de calidad superior para un determinado uso.
4. Identificar el patrón de respuesta de los diferentes isómeros de tocoferoles ante cambios en las características del Ambiente.

B. Resultados y discusión

La siembra de los ensayos con los cinco Genotipos seleccionados en sitios ubicados en las diferentes regiones agroecológicas permitió captar un amplio rango de condiciones ambientales y de cultivo, que se tradujeron en variaciones de las características estudiadas lo suficientemente amplias para identificar el efecto del Ambiente, del Genotipo y de su interacción sobre el contenido de tocoferoles en

aqueño, su concentración en aceite y la variación de sus isómeros como proporción de los tocoferoles totales.

Los valores de concentración de tocoferoles en aceite se ajustaron a la curva de distribución normal, con un valor medio de $683 \mu\text{g.g aceite}^{-1}$, desvío estándar de $117 \mu\text{g.g aceite}^{-1}$; el valor máximo observado fue de $883 \mu\text{g.g aceite}^{-1}$ y el mínimo de $464 \mu\text{g.g aceite}^{-1}$; el valor de la mediana fue de $689 \mu\text{g.g aceite}^{-1}$ (Tabla A3.1). Si bien la distribución de los valores de tocoferoles están incluidos dentro de los reportados en la bibliografía consultada, los valores máximos observados son inferiores a los informados por Nolasco *et al.* (2004); la causa de esta diferencia podría radicar en los menores valores de aceite por grano obtenidos en el trabajo citado, por regulación de la oferta de radiación incidente en la etapa de deposición de aceite, respecto a los obtenidos en este trabajo, realizado en condiciones naturales de cultivo.

El isómero α -tocoferol fue el más abundante, con una participación media del 99,2% del total de tocoferoles, variando entre un valor máximo de 99,8% y mínimo de 98,2%. La participación porcentual se correspondió con concentraciones en aceite media de $677 \mu\text{g.g aceite}^{-1}$, desvío estándar de $114 \mu\text{g.g aceite}^{-1}$ y una mediana de $680 \mu\text{g.g aceite}^{-1}$. Estos valores fueron coincidentes con lo reportado por diferentes autores consultados (Izquierdo *et al.*, 2011; Nolasco *et al.*, 2004; Velasco y Fernández-Martínez, 2012; Velasco *et al.*, 2002; Zlatanov *et al.*, 2009). La elevada participación del compuesto α -tocoferol dentro del valor total de tocoferoles en aceite explicó que los valores y respuestas observadas para el mismo sean equivalentes a las detectadas para tocoferoles totales en aceite (Tabla A7.1).

La concentración media de β -tocoferoles en aceite fue de $5,47 \pm 3,83 \mu\text{g.g aceite}^{-1}$, con valor máximo de 19 y mínimo de $0,001 \mu\text{g.g aceite}^{-1}$. Los valores observados de β -tocoferoles se ajustaron a una curva de distribución normal (Anexo I, Tabla A3 1).

El contenido de tocoferoles en grano, se ajustó a la curva de distribución normal; el valor medio fue de $16,96 \mu\text{g.grano}^{-1}$, con valores máximos de $21,75 \mu\text{g.grano}^{-1}$ y mínimos de $0,001 \mu\text{g.grano}^{-1}$, valores comprendidos dentro del rango citado por la bibliografía (Izquierdo *et al.*, 2011).

1. Contribución relativa de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E - Determinación de la fase ontogénica de máxima respuesta al efecto combinado de factores ambientales

El modelo de análisis de la varianza explicó una proporción sustancialmente superior de la variabilidad total de la concentración de tocoferoles en aceite (74,7% de la SCT) en comparación a la explicada para el contenido de tocoferoles en grano (57,7% de la SCT), si bien ambos modelos fueron altamente significativos ($p < 0,0001$) (Tabla A7.1).

La contribución relativa del Genotipo a la variabilidad total para el contenido de tocoferoles en grano, así como para la concentración de tocoferoles totales y de los isómeros detectados (α - y β -tocoferol) en el aceites, fue inferior a la explicada por el Ambiente (Tabla A7.1) y (Tabla A7.2). Nolasco *et al.* (2006) trabajando con cultivares tradicionales y con cultivares de alta concentración de ácido oleico en diferentes

Ambientes encontraron, en forma semejante a este trabajo, que la variabilidad debida al Genotipo fue inferior a la explicada por el Ambiente. Estos resultados no coinciden con lo reportado en trabajos realizados por diversos autores, tales como Alpaslan y Gündüz (2000), que trabajaron con 10 híbridos en una localidad, Del Moral *et al.* (2011) que trabajaron con 188 líneas en una localidad dos años, Dolde *et al.* (1999) que exploraron cinco localidades con 12 cultivares, los cuales si bien exploraron una amplia variedad de Genotipos, la variabilidad del Ambiente podría no ser tan amplia; estos autores no presentaron registro climáticos que permitan evaluar la amplitud de los mismos en diferentes etapas. Velasco y Fernández-Martínez (2012), que trabajaron en una localidad durante dos años con diferentes fechas de siembra, exploraron temperaturas mínimas, durante la etapa de llenado de granos en un rango de 14-20°C y de humedad relativa entre 23-55% (valores aproximados). En los trabajos enumerados anteriormente el Genotipo explicó una proporción de la variabilidad total superior al Ambiente. Esta diferencia en las respuestas observadas puede deberse a la amplitud de los factores ambientales involucrados en los diferentes ensayos; por ejemplo la amplitud explorada, en los 11 Ambientes sembrados en esta tesis, de temperaturas mínimas en la etapa R5+250-450°Cd fue de 9-29°C y de humedad relativa fue de 45-86%, es superior a la lograda por las condiciones experimentales de Velasco y Fernández-Martínez (2012).

La suposición anterior fue corroborada al considerar un grupo de localidades que presentan menor amplitud de los factores ambientales evaluados para realizar el análisis de varianza. Este análisis reveló que el Genotipo explicó una proporción superior de la variabilidad total (79% de la SCT) respecto a la explicada por el Ambiente (10% de la SCT). Esta agrupación de localidades fue realizada por el análisis de clasificación que se presenta en el Figura A10.1, denominada “Centro” y que será discutido en el Capítulo 10, apartado Aa.

Los híbridos presentaron diferencias significativas en la concentración de tocoferoles totales en el aceite generando, por el análisis de diferencias de medias. Se identificaron dos grupos, el de mayor concentración integrado por DK3920, DK4000 y DK3880 (Tabla A7.1) y el de menor concentración de tocoferoles en aceite integrado por DK3810 y DK4200. Para el contenido de tocoferoles por grano se generaron tres grupos: el de menor peso de tocoferoles en grano fue DK3880, híbrido con el menor porcentaje de aceite y de PG; el grupo de mayor peso de tocoferoles por grano fue conformado por DK3920 y DK4000, difieren entre ellos en porcentaje de aceite; DK3820 y DK4200 presentaron una posición intermedia (Tabla A7.1). Uno de los materiales estudiados (DK3920) presentó diferencias significativas para la concentración de β -tocoferol en aceite, el resto de los materiales presentaron valores medios semejantes (Tabla A7.1).

Las características descriptas anteriormente indican variabilidad genotípica, por lo cual de acuerdo al objetivo buscado se debería seleccionar al cultivar más apropiado para obtener alta concentración de tocoferoles en aceite. Se identificó un cultivar con valores superiores tanto en granos como en aceite, para ambos isómeros, indicando que la obtención de cultivares con valores superiores para estas características es posible.

En todos los casos analizados la relación tocoferoles / ácido grasos insaturados fue superior a 0,6 μg de tocoferol por gramo de ácidos grasos poliinsaturados, valor sugerido por la literatura como límite inferior para esta relación (Izquierdo *et al.*, 2007; Izquierdo *et al.*, 2011). El valor medio fue de 1,21, con un valor mínimo observado de 0,86 y máximo de 1,80 μg de tocoferol por gramo de ácidos grasos poliinsaturados.

El mayor efecto de los factores ambientales sobre la concentración de tocoferoles totales en aceite se observó en la etapa R1-R5, etapa en la cual explicaron el 59,9% de la SC, esta ventana fue, además, donde el modelo de regresión multivariada explicó el mayor porcentaje de la variabilidad total (89,9% de la SC, Tabla A7.2). Durante todas las etapas posteriores a R5.5 evaluadas, la contribución relativa a la variabilidad total de los factores ambientales fue semejante, aunque la etapa R5+250-450°Cd (42,7% de la SC) fue la única que presentó respuesta a todos los factores ambientales incluidos en el modelo (Tabla A7.2). Las respuestas observadas de α -tocoferol y β -tocoferol fueron semejantes a la descripta para tocoferoles totales en aceite (Anexo I, Tablas A7.3 y A7.4)

Si bien se observó variabilidad genética en la concentración de tocoferoles totales y de α -tocoferol y β -tocoferoles en aceite, la respuesta de los cultivares ante cambios en los factores ambientales fue semejante; no se identificó interacción G×E significativa en ninguno de los modelos evaluados.

Tal como fue detallado en la introducción de este capítulo la existencia o no de una interacción G×E no está claramente definida en la bibliografía; por un lado se reportaron trabajos con G×E significativa (Anastasi *et al.*, 2010; Dolde *et al.*, 1999; Velasco y Fernández-Martínez, 2012; Velasco *et al.*, 2002), por otro el efecto de la interacción no fue significativo (Ayerdi Gotor *et al.*, 2006; Izquierdo *et al.*, 2007; Nolasco *et al.*, 2004), por lo cual es de suponer que el hallazgo o no de interacción significativa, así como de la magnitud de la diferencia entre los materiales, dependerá tanto del conjunto de híbridos incluidos en cada ensayo, como de la amplitud de las condiciones de Ambiente, tal lo descripto al comienzo de este apartado.

2. Respuesta de la concentración de tocoferoles en aceite a la variación del rendimiento en aceite, del peso y número de granos y de los factores ambientales en forma combinada.

El contenido de tocoferoles en grano no presentó diferencias significativas entre los grupos evaluados en ninguna de las agrupaciones de Ambientes realizadas (Tabla A7.1), razón por la cual los análisis siguientes fueron realizados solamente para la concentración de tocoferoles en aceite.

a) Relación con el rendimiento en aceite, peso y número de granos.

No se observó una relación significativa entre la concentración de tocoferoles totales en aceite con el rendimiento, tanto por el análisis de varianza (Tabla A7.1), como por el análisis de correlación ($R=0,04$, $p=0,765$, $n=55$).

El β -tocoferol presentó una relación significativa, positiva, con rendimiento, tanto a través del análisis de correlación ($R=0.31$, $p=0.0218$, $n=55$), como por el análisis de varianza, donde el Ambiente “bajo” presentó menor contenido que el Ambiente “medio”; el Ambiente alto presentó una posición intermedia (Tabla A7.1). Esta asociación de Ambientes estuvo relacionada al contenido de aceite por grano (Tabla 3.1).

El efecto del número de granos sobre la concentración de tocoferoles en aceite se expresó a través de su relación con el peso de aceite por grano. El análisis de sendero no presentó un efecto directo del NG sobre la concentración de tocoferoles en aceite, no

obstante observarse un coeficiente de Pearson altamente significativo (coef de paso directo=0,07, $R=0,56$, $p<0,0001$, $n=55$). Esta relación expresó que al incrementarse el número de granos, el peso de aceite por grano disminuyó ($R=-0,44$, $p=0,0009$, $n=55$); al disminuir el peso de aceite por grano la concentración de tocoferoles en aceite se incrementó (coef de paso directo=-0,61 $R=-0,83$, $p<0,0001$, $n=55$).

La relación entre la concentración de tocoferoles en aceite con el peso de granos fue inversa ($R=-0,82$, $p<0,0001$, $n=55$), y fue mayormente explicada por la relación entre el peso de granos y peso de aceite por grano ($R=0,88$, $p<0,0001$, $n=55$). El análisis de sendero, para la relación de la concentración de tocoferoles en aceite con el peso de granos, reveló un coeficiente de paso directo de -0,21, inferior al coeficiente de paso indirecto a través del peso de aceite por grano (-0,47).

La relación inversa entre la concentración de tocoferoles en aceite con peso de aceite por grano fue altamente significativa ($R=-0,83$, $p<0,0001$, $n=55$). Por el análisis de sendero el efecto directo fue de -0,65, indicando la fuerte relación entre estas dos características (Figura 7.1 y Figura 7.2). El modelo lineal fue el que mejor representó la relación entre tocoferoles en aceite y peso de aceite por grano; otros modelos evaluados no presentaron ventajas con respecto al lineal.

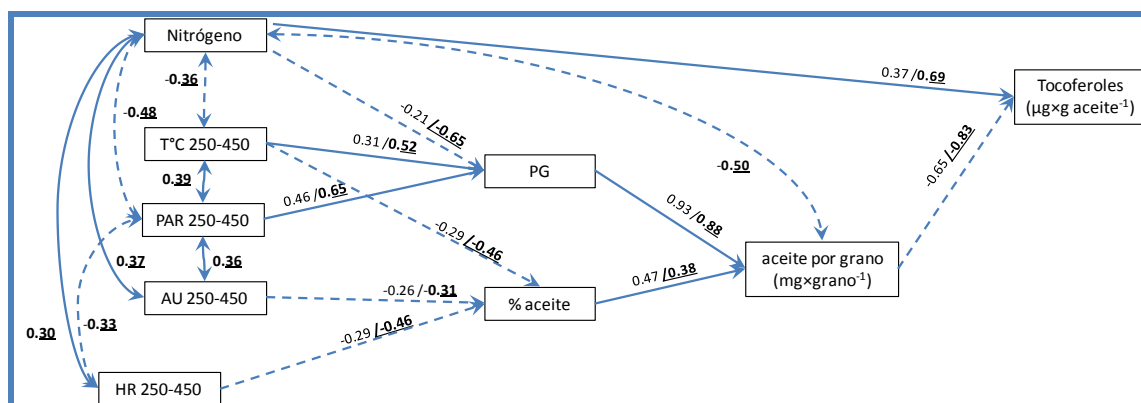


Figura 7.1: Representación esquemática de las relaciones causa/efecto sobre la concentración de tocoferoles en aceite de características fenotípicas y factores ambientales para la etapa fenológica R5+250-450°Cd, de características fenotípicas y factores ambientales, determinadas por el análisis de correlaciones simples y parciales. Términos de coeficientes de correlación parcial (efectos directos) son representados por vectores unidireccionales y por valores sin subrayar. Los coeficientes de correlación de Pearson representados por arcos bi-direccionales y/o por valores subrayados. Líneas continuas representan relaciones directas, líneas punteadas relaciones inversas. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta figura.

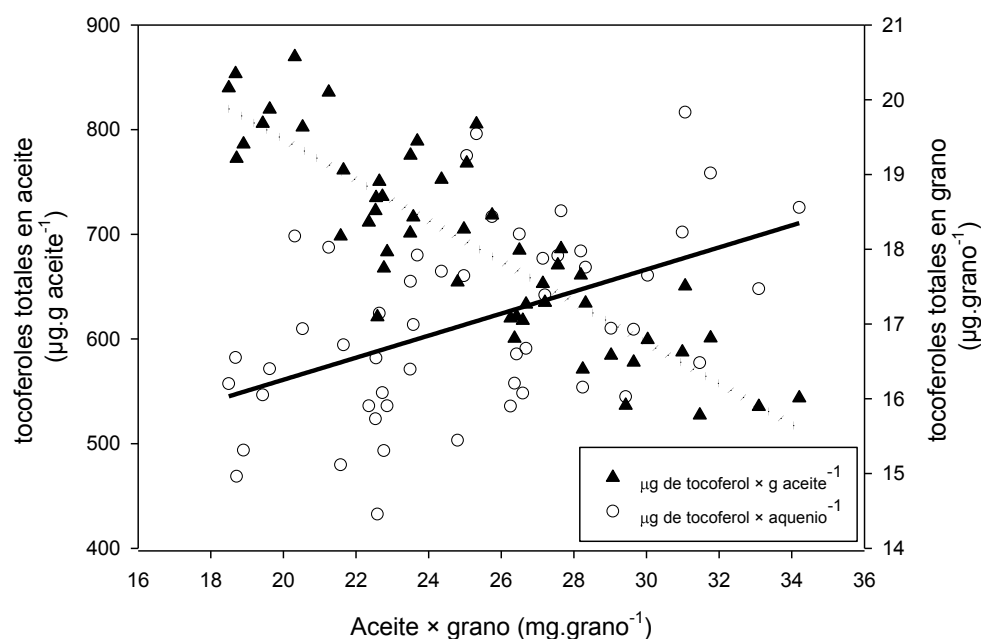


Figura 7.2: Cambios en la concentración de tocoferoles en aceite y en la cantidad de tocoferoles por grano en función de la cantidad de aceite por grano. \blacktriangle con línea punteada representa la función ajustada del cambio en la concentración de tocoferoles totales en aceite en función de la cantidad de aceite por grano a = valor de la ordenada al origen, b = pendiente de la función ($R^2=0,7302$, $p<0,0001$, $a= 1180\pm42,62$, $b=-19,465\pm1,673$). \circ Línea continua representa la función del cambio en el contenido de tocoferoles totales en grano al variar la cantidad de aceite por grano ($R^2=0,231$, $p=0,003$, $a= -13,04\pm0,971$, $b=0,1475\pm0,0381$).

Al evaluar la variación de la concentración de tocoferoles totales en aceite en función de la variación del peso de aceite por grano se observó que la respuesta de los cultivares fue semejante y que la interacción $G \times E$ no fue significativa, indicando que la concentración de tocoferoles totales en aceite depende de la cantidad de aceite por grano acumulada (Tabla 7.1).

La relación observada entre peso de tocoferoles por grano y aceite por grano fue directa. La misma explicó el 9% de la variabilidad total; indicando que al aumentar la cantidad de aceite por grano también aumentó la cantidad de tocoferoles en el mismo, (Tabla 7.1). Para el peso de tocoferoles por grano, la proporción de la variabilidad total explicada por el Genotipo fue del 25% de la suma de cuadrados indicando, relativamente, una mayor dependencia de las características del Genotipo, respecto a la concentración de tocoferoles en aceite. La interacción Genotipo por contenido de aceite en grano no fue significativa (Tabla 7.1).

Tabla 7.1: Contribución relativa del Genotipo, del contenido de aceite por grano y de su interacción a la variabilidad total del contenido de tocoferoles totales por grano y en aceite determinado por el análisis de regresión multivariada. GL: grados de libertad del modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación directa (+) o inversa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Consultar índice de abreviaturas en la página xviii para el significado de las otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Modelo	GL	Tocoferoles totales en grano ($\mu\text{g} \cdot \text{grano}^{-1}$)			Tocoferoles totales en aceite ($\mu\text{g} \cdot \text{g} \text{ aceite}^{-1}$)		
		Efecto	% SC	prob F>	Efecto	% SC	prob F>
R²	55		0,441	<0.0001		0,779	<.0001
Suma cuadrados total	54		96,17			489051	
Genotipo	4		25%	0,008		10%	0,015
Aceite \times grano ⁻¹	1	+	9%	0,020	-	64%	<.0001
Genotipo \times Aceite \times grano ⁻¹	4		9%	0,227		4%	0,254

Las relaciones anteriormente detalladas sugieren que al incrementarse el peso de aceite por grano el peso de los tocoferoles en el mismo también se incrementó, pero a una tasa inferior ($b=0,147 \pm 0,038$). La menor tasa de deposición de tocoferoles con respecto a la deposición de aceite en el grano explicaría porque al incrementarse la cantidad de aceite por grano la concentración de tocoferoles en el aceite disminuye ($R=-0,854$, $p<0,0001$) (Figura 7.2).

Las diferentes pendientes de acumulación para tocoferoles totales en aceite y en grano en función del peso de aceite por grano, se pueden observar al relativizar los valores de la variable dependiente a su máximo valor, revelando para tocoferoles totales en aceite una amplitud de valores entre $0,606 - 1$, con pendiente negativa ($b= -0,02199 \pm 0,001958$) y para tocoferoles en grano $0,75 - 1$ con pendiente positiva ($0,008277 \pm 0,002015$). Al comparar estas pendientes con los valores absolutos se corrobora la diferencia en las pendientes.

Al comparar los modelos de relación entre tocoferoles totales en aceite con peso de aceite por grano obtenidos en este trabajo con los reportado por Nolasco *et al.* (2004), encontramos que estos modelos fueron diferentes. El modelo generado por Nolasco *et al.* (2004) en general subestimó los valores observados en este trabajo (Anexo I, Figura A7.1). Una posible causa de esta diferencia podría encontrarse en el hecho que Nolasco *et al.* (2004) trabajaron con un conjunto de muestras para las cuales el rango de valores de peso de aceite en grano fue más amplio; aproximadamente el valor medio de los valores observados por Nolasco *et al.* (2004) se corresponden a los valores mínimos observado es este trabajo. Los valores comunes entre ambos trabajos, para la relación tocoferoles en aceite en función de aceite en grano, se ubican en la fracción de valores donde el modelo determinado por Nolasco *et al.* (2004) comienza a ser asintótico con el eje de abscisas.

Al comparar las pendientes de respuesta de los valores relativos al máximo observado de α -tocoferol ($b=-0,02187 \pm 0,001949$) y de β -tocoferol ($b= -0,02210 \pm 0,006715$) en función del peso de aceite por grano se observó que la participación relativa de α -tocoferol y β -tocoferol fue similar al variar la concentración de aceite por grano ($p=0.9739$).

b) Efecto de las condiciones ambientales sobre la concentración de tocoferoles en aceite en función de las zonas agroecológicas

El análisis de varianza para la agrupación de Ambientes por zonas agroecológicas reveló diferencias significativas entre ellas para tocoferoles totales y α -tocoferol en aceite (Tabla A7.1); exhibiendo la zona SUR valores superiores a las otras dos zonas. La mayor concentración de tocoferoles en aceite observado en la zona SUR está relacionada a una mayor cantidad de granos por unidad de superficie, como así también por planta, a un menor peso de aquenios y a valores inferiores de aceite por grano (Tabla A3.2) con respecto a las otras zonas, por lo cual esta diferencia está relacionada a lo discutido en el punto anterior.

c) Efecto del contenido de nitrógeno inicial sobre la concentración de tocoferoles en aceite

El contenido inicial de nitrógeno evidenció efectos significativos sobre la concentración de tocoferoles en aceite. Este efecto fue observado a través del análisis de varianza, del análisis de regresión y mediante el método de partición recurrente. El nitrógeno no pudo ingresar al análisis de regresión multivariada al presentar colinealidad con los otros factores ambientales (PAR, temperatura y agua útil disponible).

Los Ambientes “alto N” presentaron mayores niveles de tocoferoles en aceite con respecto a los “bajo N”; con una posición intermedia del Ambiente “óptimo N” (Tabla A7.1). Esta diferencia estuvo asociada a menor peso de granos, de aceite por grano y del porcentaje de hojas verdes en R7 (Tabla A3.6).

El análisis de regresión de la concentración total de tocoferoles en aceite en función del contenido inicial de nitrógeno en el suelo, represento con un modelo lineal simple, el 47,9% de la variabilidad total ($p < 0,001$, $n=55$); gran parte de la variabilidad no explicada fue debida a la diferencia en la concentración de tocoferoles en aceite entre los cultivares (Figura 7.3 y Tabla 7.1). Al realizar el análisis de regresión en función de los grupos de alto y bajo contenido de tocoferoles en aceite, el nivel de ajuste de los modelos se incrementó significativamente (Figura 7.3). La interacción entre Genotipo y contenido de nitrógeno no fue significativa (Tabla 7.2).

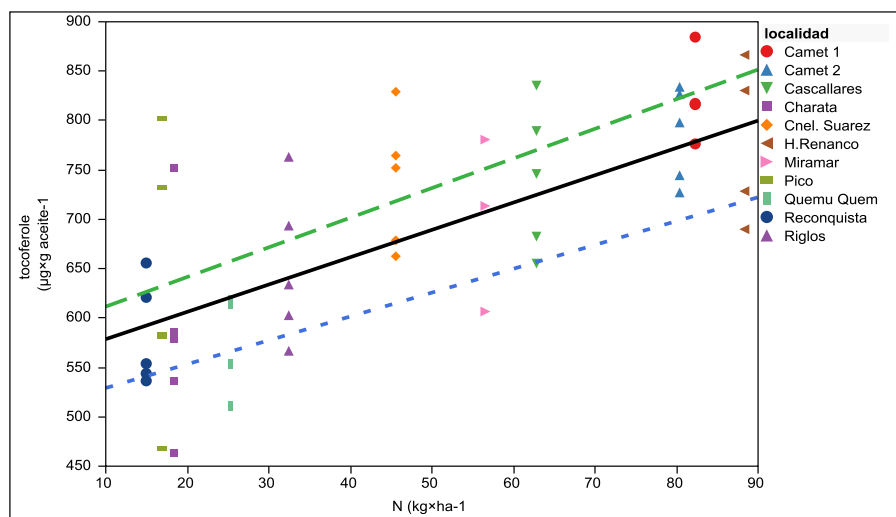


Figura 7.3: Variación de la concentración de tocoferoles totales en aceite en función del contenido inicial de nitrógeno. Los símbolos representan a los valores observados de cada híbrido dentro de localidad. Las líneas representan las funciones ajustadas por análisis de regresión. La línea continua negra: considera al conjunto completo de cultivares tocoferoles (mg.kg aceite^{-1}) = $566,2523 + 2,4450863 \times N$ (kg.ha^{-1}); $R^2=0,479$, $p<0,001$, $n=55$. La línea discontinua verde corresponde a cultivares alta concentración de tocoferoles: tocoferoles (mg.kg aceite^{-1}) = $605,90058 + 2,4900941 \times N$ (kg.ha^{-1}) $R^2=0,652$, $p<0,001$, $n=33$. La línea punteada azul corresponde a cultivares con menor concentración de tocoferoles (mg.kg aceite^{-1}) = $506,77988 + 2,3775746 \times N$ (kg.ha^{-1}) $R^2=0,731$, $p<0,001$, $n=22$. Las pendientes no difieren entre si ($p>0,1$).

El análisis de sendero reveló que el efecto del nitrógeno se ejerció tanto directamente (coef. de paso directo=0,37, $R=0,69$, $p<0,0001$, $n=55$), como a través del peso de los granos, con el cual presentó correlación negativa ($R=-0,65$, $p<0,0001$, $n=55$) (Figura 7.1). Las posibles causas de esta relación negativa entre peso de granos y nitrógeno fueron discutidas en el capítulo 3.

Tabla 7.2: Contribución relativa del Genotipo, del contenido de nitrógeno inicial en el suelo y de su interacción a la variabilidad total de la concentración de tocoferoles en aceite determinado por el análisis de regresión multivariada. GL: grados de libertad del modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación directa (+) o inversa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Consultar índice de abreviaturas en la página xviii para el significado de las otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Modelo	GL	Efecto	% SC	prob F>
R2	55		0,794	<.0001
Suma cuadrados total	54		562103	
Genotipo	4		25,9%	<.0001*
N (kg.ha^{-1})	1	+	53,4%	<.0001*
N (kg.ha^{-1})×Genotipo	4		0,1%	0,9914

El efecto del nitrógeno podría comenzar a ser significativo ante una combinación de cultivares y Ambientes que generen un peso de aceite por grano superior a $21,6 \text{ mg.grano}^{-1}$ (Figura 7.4). El valor de partición de Ambientes por nitrógeno fue similar al observado para fosfolípidos en aceite y para rendimiento.

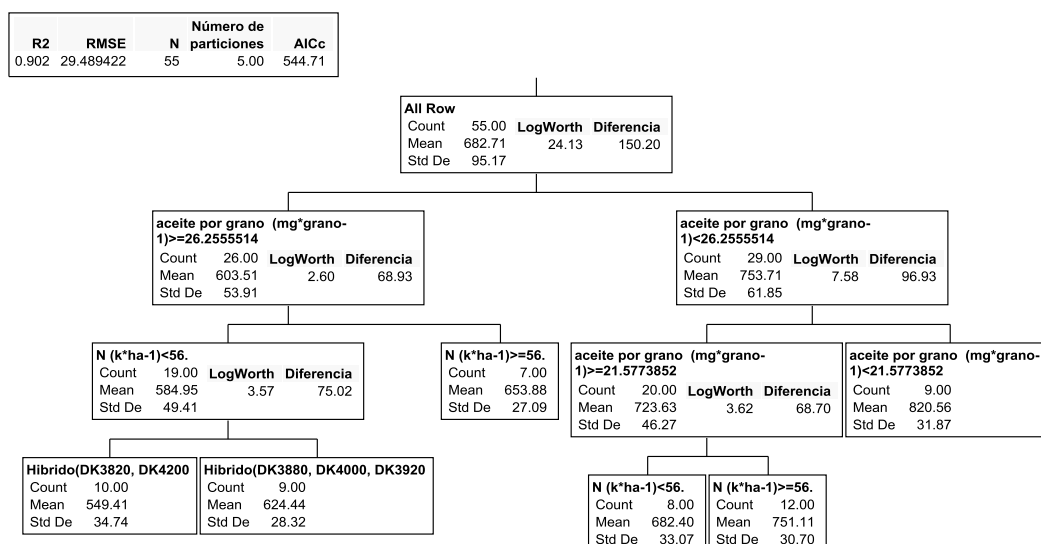


Figura 7.4: Partición dicotómica de los valores observados de concentración de tocoferoles en aceite en función de Genotipos y datos observados de características fenotípicas y factores ambientales por el método de partición recurrente. Cada rectángulo indica el nombre de la característica y valor de la misma en función de la cual se generó la partición, el número total de observaciones involucradas en cada grupo (count), el valor medio del grupo (mean) y su desvío estándar (Std Dev), así como la amplitud de los valores observados dentro de cada grupo (diferencia) cuando este fue vuelto a subdividir. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de aquellas otras utilizadas en esta figura.

Al evaluarse la relación de la materia orgánica con la concentración de tocoferoles en aceite, la relación observada fue equivalente a la hallada al considerar nitrógeno, pero con menor nivel de ajuste ($R^2=0,581$, $p=0,006$).

En la bibliografía consultada no se encontraron referencias, en girasol, sobre este tema. Trabajos realizados en olivo (Fernández-Escoba *et al.*, 2004) y en colza (Egesel *et al.*, 2008) mostraron conclusiones semejantes en cuanto a que mayor disponibilidad de nitrógeno, generó mayor concentración de tocoferoles en aceite.

d) Efecto de los factores ambientales

Al evaluar el efecto sobre la concentración de tocoferoles totales en aceite de las diferentes observaciones de temperatura se observó que la temperatura mínima y media presentaban resultados semejantes (datos no mostrados). Dado el contexto de que la temperatura mínima fue la característica seleccionada para realizar el análisis de otras variables de calidad de aceite y frutos del girasol, se la volvió a seleccionar como la expresión de la temperatura a incluir en los modelos de análisis para tocoferoles.

El efecto sobre la concentración de tocoferoles totales en aceite de la temperatura, considerando lo observado al discutir el momento de mayor impacto de las condiciones de Ambiente y comparando los resultados observados en las Tablas A3 y A7.2, estaría relacionado al efecto que la misma posee sobre el peso de granos y a través de este sobre el peso de aceite por grano; tal lo discutido en el presente capítulo y en el capítulo 3 y graficado en la Figura 7.1.

Esta hipótesis estaría soportada, además, por el hecho de que no se identificó, por el análisis de sendero, un efecto directo de la temperatura sobre la concentración de tocoferoles en aceite (coef. de paso directo=0,0) Figura 7.1).

Por otra parte al estar la concentración de tocoferoles en aceite relacionada al peso de aceite por grano, los efectos observados del agua útil disponible y de la humedad relativa (Tabla A7.2) estarían asociados a lo discutido sobre el efecto de estas características ambientales sobre el peso de granos en el capítulo 3, en cuanto a la fijación del número de granos y de la evolución del área fotosintética.

El PAR no presentó un efecto directo sobre la concentración de tocoferoles en aceite, sino a través del peso de aquenio. (Figura 7.1). A mayor PAR incidente, mayor peso de granos, lo cual se relacionó con mayor peso de aceite por grano, conexo, como se discutió anteriormente, con menor concentración de tocoferoles en aceite. Este concatenado de relaciones explicó la relación inversa entre PAR incidente y tocoferoles en aceite ($R=-0,47$, $p=0,0003$, $n=55$).

El efecto inverso del PAR sobre la concentración de tocoferoles en aceite observado en nuestros resultados es coincidente con lo reportado por Nolasco *et al.* (2004), quienes evaluaron la respuesta al PAR utilizando ensayos con aplicación de tratamientos de sombreo y raleo de plantas que generan cambios en la radiación incidente e interceptada.

El efecto de las características ambientales sobre la fracción β -tocoferol fue semejante a la observada para tocoferoles en general (Tabla A7.4).

C. Conclusiones

Este trabajo, con una combinación de desarrollo experimental y metodología de análisis novedosa, permitió identificar que la contribución relativa del Genotipo a la variabilidad total de la concentración de tocoferoles en aceite y de su peso en grano, fue inferior a la explicada por el Ambiente, aportando a una discusión que presenta resultados contradictorios en la bibliografía consultada en cuanto a que el peso relativo del Genotipo sobre la variabilidad total estaría en relación a la amplitud de las características ambientales exploradas. Esto fue corroborado al observar que la contribución del Genotipo a la variabilidad total fue superior a la del Ambiente cuando el análisis se realiza con un conjunto de localidades de ensayo con menor amplitud de variabilidad en los factores ambientales. Las respuestas semejantes, a lo descrito anteriormente, de los isómeros α -tocoferol y β -tocoferol, no fueron previamente reportadas. La variabilidad genética observada indica que pueden obtenerse materiales con altos valores de porcentaje de aceite y altos valores de tocoferoles en aceite, característica de calidad valorada por la industria. El posicionamiento relativo de los materiales incluidos en este trabajo se mantendría a través de los diferentes Ambientes, al no haberse encontrado interacción $G \times E$ significativa (Objetivo 1 de este Capítulo).

El mayor efecto de los factores ambientales sobre la concentración de tocoferoles en aceite se observó en la etapa R1-R5, en la que estos factores explicaron el 59,9% de la SC. Durante todas las etapas posteriores a R5.5 la contribución relativa a la variabilidad total de los factores ambientales fue semejante, aunque la etapa R5+250-450°Cd fue la única que presentó respuesta a todos los factores incluidos en el modelo (Objetivo 2 este Capítulo).

La concentración de tocoferoles en aceite y en grano estuvo relacionada a la cantidad de aceite por grano; al incrementarse el peso de aceite por grano el peso de tocoferoles por grano se incrementó y la concentración en aceite disminuyó, indicando un proceso de dilución. Las características ambientales evaluadas actuaron,

principalmente, en forma directa sobre el peso de aceite por grano y a través de esta característica sobre los contenidos de tocoferoles en granos y en aceite. Seleccionando el cultivar correcto, con prácticas agronómicas y/o condiciones de Ambientes que favorezcan un alto número de aquenios, relacionado a un menor peso de los aquenios, se incrementaría la concentración de tocoferoles en aceite. (Objetivo 3 este Capítulo).

Los isómeros α -tocoferol y β -tocoferol presentaron respuestas semejantes a los factores ambientales, a las observadas para tocoferoles totales en aceite y granos, sin cambios en sus proporciones relativas (Objetivo 4 este Capítulo)

Los Tocoferoles actuarían en conjunto con el grado de insaturación del aceite sobre la estabilidad oxidativa de la misma. En el capítulo 8 analizamos las respuestas de los ácidos grasos del aceite de girasol en este conjunto de experimentos con objetivos y metodologías semejantes a la utilizada en el presente capítulo.

Capítulo 8

COMPOSICIÓN ACÍDICA DEL ACEITE DE GIRASOL

Composición ácida del aceite de girasol

En los capítulos 6 y 7, se observó para la concentración de fosfolípidos y tocoferoles en aceite una mayor contribución del Ambiente a la variabilidad total respecto del Genotipo (aunque con diferencias significativas entre los cultivares evaluados), sin que la interacción $G \times E$ fuese significativa. El período crítico general fue identificado en las etapas tempranas de desarrollo del grano, aunque la concentración de tocoferoles en aceite presentó además una fuerte respuesta en la etapa fenológica R1-R5, relacionada al efecto del Ambiente sobre el número y peso de los granos. En este capítulo se estudia, para la composición ácida del aceite, la contribución relativa del Genotipo, del Ambiente y de su interacción a la variabilidad total de esta variable. También, se analizan las respuestas observadas en diferentes etapas fenológicas con el objetivo de identificar un período de máxima respuesta a las condiciones del Ambiente. Por último se estudia la respuesta a la variación combinada de factores ambientales y su relación con rendimiento. Ello permite identificar las características de los Ambientes en la cuales se puede optimizar el contenido relativo de los diferentes componentes ácidos del aceite.

A. Introducción

1. Definición de calidad

La composición ácida del aceite de girasol, determinada por el tipo y la cantidad relativa de cada uno de los ácidos grasos que la conforman, establece su calidad nutritiva, culinaria y/o industrial. No existe una composición ácida ideal, puesto que aceites con diferentes composiciones son adecuados para diferentes usos (Neto da Silva *et al.*, 2003).

Los ácidos grasos pueden ser clasificados por la longitud de su cadena carbonada y por la cantidad y posición de los dobles enlaces entre átomos de dicha cadena. La participación relativa de los diferentes ácidos grasos que la componen se modifica en función del Genotipo y de las condiciones de Ambiente.

Los ácidos grasos saturados, con todos los enlaces carbono-carbono simples, presentan valores que fluctúan entre el 8 al 14% del aceite. Dentro de este conjunto, los ácidos grasos de mayor participación son el ácido palmítico (C16) con concentraciones que varían entre el 3,1 al 7,9% y el ácido esteárico (C18) con valores de 1,3 a 5,9% del aceite de girasol (Ali y Ullah, 2012; Anastasi *et al.*, 2010; Izquierdo *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2010).

La concentración de ácidos grasos insaturados en el aceite de cultivares de girasol tradicionales es superior al 85% de la misma. Dentro de este conjunto, los ácidos de mayor participación son el ácido oleico (C18-1), con valores de concentración en aceite que fluctúan entre el 10 al 60%, y el linoleico (C18-2), con valores que fluctúan entre 18 al 75% del aceite de girasol. Pueden encontrarse cantidades pequeñas de linolénico (C18-3) (Izquierdo *et al.*, 2002; Izquierdo *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2010; Onemli, 2012).

Las variaciones observadas en las proporciones de los distintos ácidos grasos responden a efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción de ambos efectos, siendo las prácticas agronómicas, tales como lugar y fecha de siembra, la fertilización, la densidad de plantas y el control de las enfermedades, herramientas que permitirían obtener una calidad determinada de aceite.

2. Efecto del Genotipo sobre la composición ácida

Existe amplia variabilidad genética en la composición ácida (Izquierdo *et al.*, 2002; Izquierdo *et al.*, 2006; Izquierdo *et al.*, 2008; Kandil *et al.*, 1990; Petcu *et al.*, 2010; Sobrino *et al.*, 2003), la cual ha sido utilizada en procesos de mejoramiento a efectos de obtener girasoles con calidades especiales de aceites, que se diferencian por contar con valores superiores de determinados ácidos grasos, por ejemplo, altos porcentajes de esteárico o de oleico (Pérez-Vich *et al.*, 2004).

La contribución relativa del Genotipo a la variabilidad total de la composición ácida, en los cultivares tradicionales, es de acuerdo a lo observado, menor al del Ambiente. Los cultivares producto de la selección dirigida a obtener calidades específicas de aceite presentan menor variabilidad ante cambios en las condiciones de Ambiente respecto a los tradicionales (Izquierdo *et al.*, 2006).

El efecto de la interacción G×E para los diferentes componentes del aceite de girasol no es claro. Izquierdo y Aguirrezábal (2008) encontraron para la concentración en aceite de ácido oleico, trabajando en condiciones controladas, respuesta diferencial entre híbridos a la temperatura, tanto en los valores mínimos, como en la tasa de respuesta a cambios en la temperatura. Estos autores indican que una única expresión funcional puede ser aplicada a todos los híbridos con diferentes parámetros (dependientes del híbrido). Kandil *et al.* (1990) encontraron una fuerte interacción G×E para la relación oleico / linoleico. Estos autores no hallaron interacción G×E significativa para el porcentaje de ácidos grasos saturados.

Aunque en la literatura consultada se han encontrado estudios que presentan como objetivo identificar la contribución relativa del Genotipo, del Ambiente y de su interacción sobre la concentración de los diferentes ácidos grasos en el aceite de girasol pocos trabajos fueron realizados considerando la variación conjunta de factores ambientales. El estudio de estas cuestiones constituiría un aporte novedoso al conocimiento existente, con posibles implicancias para la toma de decisiones en investigación, por ejemplo la evaluación de opciones para la mejora genética o el manejo agronómico del cultivo con el objetivo de obtener una determinada calidad

3. Efecto de las condiciones ambientales sobre la composición ácida del aceite de girasol.

a) Determinación del período crítico

La determinación del período crítico, momento de mayor influencia de las variables ambientales sobre la composición ácida, es un conocimiento necesario a efectos de obtener una calidad determinada de aceite a través del manejo agronómico, en función de la selección del lugar y fecha de siembra.

La deposición de aceite en el fruto de girasol comienza cuando el desarrollo del embrión emprende su etapa de rápido desarrollo, fase lag (Connor y Hall, 1997),

aproximadamente a los 14 días desde floración (Rondanini *et al.*, 2003). La máxima respuesta a la radiación interceptada se encontró en el período 250-450°Cd desde floración (Aguirrezábal *et al.*, 2003).

Los ácidos grasos saturados se depositan tempranamente, alcanzando su máxima concentración en R5.5+200°Cd, momento a partir del cual comienzan a decrecer paulatinamente, hasta estabilizarse en los valores descriptos previamente (Baydar y Erbas, 2005). El ácido palmítico (C16) es el precursor del ácido esteárico y, a partir de este, de los ácidos no saturados (Triki *et al.*, 1997). El período crítico para la determinación de los ácidos saturados sería anterior al de los insaturados (Izquierdo *et al.*, 2006).

Rondanini *et al.* (2003) reportaron que el efecto de temperaturas superiores a los 35°C en etapas tempranas, entre los 12 a los 19 días desde antesis, si bien generaron cambios en el perfil ácido, este fue revertido al suspenderse el factor de estrés. En contraposición, en la etapa comprendida entre los 19 a los 26 días desde antesis, el efecto de temperaturas superiores a 35°C alteró en forma permanente el mismo, se alcanzó el final del período de llenado de granos en forma anticipada y por ello no fue posible evaluar un período post estrés. En cambio Izquierdo *et al.* (2002) encontraron que el período de máxima respuesta al efecto de temperaturas mínimas nocturnas fue en etapas más tempranas, sugiriendo un efecto de memoria al estrés. Esta aparente contradicción sugiere la necesidad de estudiar en mayor medida el efecto de la temperatura sobre la composición ácida.

Los ácidos grasos linoleico (C18-2) y linolénico (C18-3), comprendidos dentro de los ácidos grasos esenciales, son sintetizados en las plantas a partir del ácido oleico (C18-1), el cual alcanzaría su máxima concentración en el período R5.5+200-300°Cd, a partir de la desaturación del ácido esteárico (Izquierdo *et al.*, 2002; Martínez-Force *et al.*, 1998).

El período crítico para la concentración de ácido oleico fue determinada, en función del efecto de la temperatura, durante el período 100-300°Cd a partir de floración (Aguirrezábal *et al.*, 2003; Izquierdo *et al.*, 2006), y de la radiación interceptada en el período 250-450°Cd (Echarte *et al.*, 2013), encontrándose que son factores aditivos, sin interacción entre ellos y que responden a diferentes procesos metabólicos (Echarte *et al.*, 2010b). La duración del período crítico estaría en función de la duración de las condiciones de estrés, a mayor estrés mayor duración del mismo (Echarte *et al.*, 2013).

No se han detectado trabajos previos que estudien el efecto combinado de un conjunto de factores ambientales para determinar el período crítico sobre la calidad de aceite, en condiciones de cultivo de girasol a campo.

b) Efecto de factores ambientales sobre el perfil ácido.

Dentro del conjunto de factores ambientales que afectan la composición ácida, es bien conocido el efecto de la temperatura (Anastasi *et al.*, 2000; Anastasi *et al.*, 2010; Izquierdo y Aguirrezábal, 2008; Izquierdo *et al.*, 2002; Izquierdo *et al.*, 2006; Onemli, 2012; Rondanini *et al.*, 2003; Santalla *et al.*, 1995; Steer y Seiler, 1990; Unger y Thomson, 1982; Werteker *et al.*, 2011). Al incrementarse la temperatura el proceso de desaturación disminuye, afectando el pasaje de ácido esteárico a oleico y del ácido

oleico a linoleico (Anastasi *et al.*, 2000; Izquierdo *et al.*, 2002; Izquierdo *et al.*, 2006; Merrien, 1998; Petcu *et al.*, 2010; Tremolieres *et al.*, 1982; Werteker *et al.*, 2011).

Si bien el proceso de desaturación es más lento al incrementarse la temperatura, se encontró que a mayor temperatura la concentración de ácidos grasos saturados disminuye, con mayor variación del contenido de ácido esteárico respecto al palmítico (Izquierdo y Aguirrezábal, 2008; Izquierdo *et al.*, 2006). Izquierdo *et al.*, 2002, no encontraron una relación significativa entre palmítico y esteárico. Otros autores no encontraron efecto de la temperatura o del Ambiente sobre el porcentaje de ácidos grasos saturados (Beringer y Dampert, 1976; Kandil *et al.*, 1990; Merrien, 1998).

El aumento en el contenido de ácido oleico por efecto de la temperatura se correlaciona con una disminución en el porcentaje de linoleico, encontrándose una fuerte relación inversa entre ambos ácidos grasos insaturados (Izquierdo *et al.*, 2006; Onemli, 2012; Roche *et al.*, 2006). El efecto de la temperatura sobre la composición ácida tendría un límite máximo, del 60% de ácido oleico para cultivares tradicionales, al cual se llegaría con valores aproximados de temperaturas medias de 27°C (Tremolieres *et al.*, 1982) o mínimas nocturnas de 22,6 °C (Izquierdo *et al.*, 2006).

Hay alta coincidencia entre los diferentes trabajos consultados en cuanto a que la temperatura es la característica ambiental de mayor impacto sobre la composición ácida. Es menos claro cuál es su mejor medida para estimar la composición ácida, al haberse encontrado muy buenos resultados utilizando tanto la temperatura máxima, media, mínima o mínima nocturna (Izquierdo *et al.*, 2006).

Trabajando en cámaras con condiciones controladas y a campo, se encontraron diferencias en las respuestas a la temperatura entre los cultivares, tanto para el rango de temperaturas a partir del cual no habría cambios, como para la tasa de respuesta a la misma. Estas diferencias no fueron encontradas a campo (Izquierdo *et al.*, 2002).

Es bien conocido el efecto de la cantidad de radiación solar interceptada por el cultivo sobre el peso de los granos (Andrade y Ferreiro, 1996) y sobre el porcentaje de aceite (Dosio *et al.*, 2000), dependiendo ambos, al igual que la composición ácida, de la disponibilidad de fotoasimilados (Echarte *et al.*, 2012; Izquierdo *et al.*, 2009). Se ha encontrado que a mayor radiación interceptada, mayor es la concentración de ácidos grasos saturados y de ácido oleico, disminuyendo la concentración de linoleico (Echarte *et al.*, 2010a; Echarte *et al.*, 2012; Santalla *et al.*, 1995; Tremolieres *et al.*, 1982).

Los efectos del agua disponible han sido comparativamente menos estudiados que otros factores; reportándose incrementos en la concentración de ácido oleico y esteárico al disminuir la disponibilidad de agua (Anastasi *et al.*, 2010; Flagella *et al.*, 2004; Jalilian *et al.*, 2012; Sezen *et al.*, 2011).

La interrelación temperatura con agua disponible es crítica para la determinación de la composición ácida, al optimizarse esta relación la concentración de ácidos palmítico y oleico disminuyó y se incrementó la concentración de ácidos esteárico y linoleico (Anastasi *et al.*, 2010; Flagella *et al.*, 2002; Jalilian *et al.*, 2012; Roche *et al.*, 2006). Anastasi *et al.* (2010) encontraron que, en girasoles irrigados, la concentración relativa de ácidos grasos totales en aceite disminuyó.

No se encontraron trabajos, en la literatura consultada, que estudien el efecto de la humedad del Ambiente sobre la composición ácida. Balalić *et al.* (2012), reportaron

que la HR, una de las principales variables ambientales que explicaron la interacción entre fechas de siembra de girasol, estaba relacionada a la concentración de aceite en forma inversa.

En general se puede considerar que situaciones de estrés afectan la composición acídica incrementando la participación relativa de ácidos palmítico y oleico a expensas de esteárico y linoleico (Anastasi *et al.*, 2010; Flagella *et al.*, 2004; Flagella *et al.*, 2002; Jalilian *et al.*, 2012; Sezen *et al.*, 2011).

Las condiciones ambientales, comparando entre localidades y entre años, también afectaron el perfil de ácidos grasos en otras oleaginosas. Así por ejemplo, en soja se encontró que altas temperaturas medias diarias disminuyeron las proporciones de linoleico y linolénico e incrementaron las de oleico (Carrera *et al.*, 2011; Primomo *et al.*, 2002), y que la temperatura mínima diaria durante la etapa de llenado de granos, más que la temperatura máxima, es la responsable de la mayor relación entre ácidos grasos saturados/no saturados (Hou *et al.*, 2006). La duración del fotoperiodo no afectó, en maní, los porcentajes de ácidos oleico, linoleico, ácidos grasos saturados, la relación oleico/linoleico, el porcentaje de aceite, ni el peso de granos (Dwivedi *et al.*, 2000). En canola se encontró que bajas temperaturas y bajas precipitaciones se relacionan con menores contenidos de ácido oleico (Pritchard *et al.*, 2000).

4. Efecto de las prácticas agronómicas sobre la composición acídica

El conocimiento de la respuesta de la composición acídica a cambios en las condiciones ambientales permite manejar la composición acídica del aceite a través de prácticas culturales (Aguirrezábal y Pereyra, 1998; Kandil *et al.*, 1990; Nagao y Yamazaki, 1983; Roche *et al.*, 2006; Steer y Seiler, 1990), las cuales son aplicadas con el objetivo de adaptar el cultivo y su estructura a los factores de temperatura, fotoperiodo e intercepción de la radiación, así como el manejo de la disponibilidad de agua.

En la literatura consultada se reportan cambios en la relación ácido oleico / linoleico por diferencias en las fechas de siembra (Jones, 1984; Petcu *et al.*, 2010; Radford y Nielsen, 1982; Unger y Thomson, 1982; Unger, 1980; Unger, 1986), entre localidades (Robutti *et al.*, 1970) y entre años (Goyne *et al.*, 1979).

Al haberse observado que la relación fuente destino incide sobre la composición acídica (Echarte *et al.*, 2012), prácticas agronómicas que la afecten, tales como fertilización nitrogenada y densidad de plantas, así como factores que produzcan defoliación, tales como enfermedades foliares, tendrían efecto sobre la composición acídica.

La aplicación de nitrógeno generó cambios en la composición acídica. A mayor aplicación de nitrógeno los niveles de ácido palmítico y linoleico se incrementaron y los de esteárico y oleico disminuyeron. Se reportan respuestas diferenciales entre Genotipos de acuerdo a la disponibilidad de nitrógeno (Ali *et al.*, 2012; Steer y Seiler, 1990; Zheljazkov *et al.*, 2009). Otros autores no encontraron evidencias que variaciones en la fertilización nitrogenada afecten el equilibrio en ácidos grasos (Merrien, 1998). Las aplicaciones tardías de nitrógeno tenderían a incrementar la concentración de ácidos grasos saturados (Zheljazkov *et al.*, 2009).

Defoliaciones parciales durante el llenado de granos producen efectos semejantes a la disminución en la oferta de nitrógeno (Zheljaskov *et al.*, 2009), por lo cual, prácticas, como la aplicación de fungicidas, que ayudan a mantener el área fotosintética activa por mayor tiempo, producirían un incremento en la concentración relativa de ácidos palmítico y linoleico.

No se hallaron estudios del efecto de las enfermedades sobre la composición ácida, con la excepción de los trabajos realizados por Dorrell y Huang (1978) en *Sclerotinia sp.* y por Zimmer y Zimmerman (1972), los cuales reportaron que las enfermedades no presentaron un efecto significativo sobre la composición ácida.

Petcu *et al.* (2010) estudiaron el efecto de la densidad de plantas sobre la composición ácida, concluyendo que las variaciones en Genotipo y en Ambientes son más importantes para determinar la composición ácida. No obstante habría que considerar que los cambios en la captura de la luz al cambiar la estructura del cultivo podría afectar la composición ácida al afectar la disponibilidad de carbono (Echarte *et al.*, 2012) a nivel de planta individual.

En la bibliografía consultada no se encontró para girasol, ni para otros cultivos extensivos, estudios que consideren de manera conjunta los efectos del Genotipo, de las características del Ambiente y de su interacción, a través las diferentes etapas de desarrollo del cultivo sobre la calidad de los aceites, ni sus conexiones con el rendimiento y sus componentes. La mayoría de los trabajos examinados fueron realizados en condiciones controladas e involucraron la manipulación de factores ambientales tomados de a uno. Asimismo, no se encontraron trabajos previos que combinen información proveniente de una red de ensayos que cubran un rango importante de localidades, con un registro robusto de información climática y de fenología del cultivo.

Los objetivos de este capítulo en relación con la composición ácida del aceite son:

1. Estudiar las contribuciones relativas de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E sobre la característica citada.
2. Identificar la etapa fenológica de máxima respuesta de esta característica de calidad al efecto combinado de factores ambientales.
3. Estudiar la respuesta de esta característica de calidad a la variación combinada de factores ambientales, y establecer sus conexiones con el rendimiento y sus componentes, a fin de identificar combinaciones de factores ambientales y/o Ambientes y Genotipo que permitan obtener una combinación de características de calidad superior para un determinado uso.
4. Identificar el patrón de respuesta de los diferentes ácidos grasos ante cambios en las características del Ambiente.
5. Determinar la relación entre el porcentaje de aceite y el nivel de insaturación del mismo.
6. Determinar la relación entre los diferentes componentes ácido del aceite de girasol con la concentración de tocoferoles y fosfolípidos en aceite.

B. Ácidos grasos saturados

La concentración de los ácidos grasos saturados en el aceite de girasol tuvo un valor medio de 10,5% y un desvío estándar de 0,8%, variando entre un valor máximo de

11,9% y un mínimo de 8,5%. La concentración en el aceite del ácido palmítico presentó un valor medio de 6,3%, un desvío estándar de 0,5%, el valor máximo observado fue 7,3% y el valor mínimo fue de 5,3%. El contenido de ácido esteárico con un valor promedio de 4,1% y desvío estándar de 0,4%, varió entre un valor máximo de 5,1% y mínimo de 2,9%. La concentración del ácido mirístico presentó un valor medio de 0,09, similar a la mediana, con un desvío estándar de 0,01% (Anexo I, Tabla A3 1).

Los valores observados se encuentran entre los márgenes citados por la bibliografía consultada (Ali y Ullah, 2012; Anastasi *et al.*, 2010; Izquierdo *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2010); con una distribución que se ajusta a la curva normal.

1. Contribución relativa de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E - Determinación de la fase ontogénica de máxima respuesta al efecto combinado de factores ambientales

Los modelos de análisis de varianza para los ácidos grasos saturados fueron altamente significativos ($p < 0,0001$); el menor coeficiente de determinación ($R^2 = 0,65$) se observó en el ácido esteárico. Los otros ácidos saturados analizados y el porcentaje total de ácidos grasos saturados en aceite presentaron valores de coeficientes superiores al 0,85 (Tabla A8.1).

La contribución relativa del Genotipo a la variabilidad total fue inferior a la del Ambiente (Tabla A8.1). El ácido esteárico fue el que mayor incidencia del Genotipo sobre la variabilidad total presentó (17% de la SC). Para el porcentaje total de ácidos grasos saturados, la contribución relativa del Genotipo a la variabilidad total fue del 11% de la SC. Los cultivares evaluados presentaron diferencias significativas en el contenido de los diferentes ácidos grasos. Los grupos conformando en función del ácido esteárico y de ácidos saturados totales fueron semejantes entre sí, e inversos a los grupos de cultivares conformados en función del porcentaje de materia grasa (comparar Tabla A5.1 y Tabla A8.1); los cultivares con mayor contenido de aceite fueron los que presentaron menores concentraciones de estos ácidos grasos. El análisis de correlación entre los distintos ácidos grasos saturados y el contenido de aceite no fue significativo ($p > 0,05$) (Tabla A8.2).

Para la concentración de ácido palmítico solamente DK4000 presentó diferencias significativas con el resto. Para la concentración de ácido mirístico en aceite, DK3920 y DK4000 presentaron valores superiores al resto de los cultivares incluidos en este ensayo. DK4000 se diferenció del resto de los cultivares al ser el único que presentó concentraciones superiores de los tres diferentes ácidos grasos saturados evaluados (Tabla A8.1). No se observaron interacciones Genotipo por Ambiente significativas en ninguno de los modelos evaluados. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Kandil *et al.* (1990).

Al considerar el conjunto de datos incluyendo a todas las localidades de ensayos se observó que el ácido mirístico presentó correlación significativa con la concentración de tocoferoles en aceite ($R = 0,41$, $p = 0,0017$, $n = 55$). Al eliminar del análisis a las localidades del NEA esta dejó de ser significativa ($R = 0,169$, $p = 0,267$, $n = 45$), por lo cual esta relación estaría reflejando el efecto de la temperatura, tal como será discutido en el apartado de ácidos grasos saturados 2d.

Se realizaron análisis de regresión multivariada a efectos de evaluar la respuesta de la concentración de los distintos ácidos grasos saturados y de su concentración total en aceite ante variaciones en las características ambientales, así como para identificar las etapas de desarrollo del cultivo con mayor sensibilidad o respuesta a los mismos. Se consideró como momento crítico, el de mayor respuesta, al momento de desarrollo en el cual las características ambientales evaluadas explicaron una mayor proporción de la variabilidad total. Al comparar los resultados que presentaron, para el análisis de regresión multivariada, la concentración en aceite del ácido esteárico, palmítico y mirístico y el porcentaje de ácidos saturados, se observó que sus respuestas fueron equivalentes, comparar tablas en Anexo I (Tabla A8.3, A8.4, A8.5 y A8.6).

El período de máxima respuesta a las características ambientales evaluadas, para los ácidos esteárico, palmítico y del total de ácidos grasos saturados (%), fue el comprendido entre R5.5 +100-300°Cd (Tabla A8.3). Para el ácido mirístico no fue posible determinar un período crítico, dado que la mayor captura de la variabilidad ($R^2=0.913$) se observó al considerar el período completo de cultivo (EME-R9).

2. Respuesta de los ácidos saturados a la variación del rendimiento en aceite, del peso y número de granos y de los factores ambientales en forma combinada.

a) Relación con el rendimiento en aceite, peso y número de granos.

El análisis de varianza realizado para la agrupación de Ambientes en función de la productividad media, agrupación de Ambientes discutida en el Capítulo 3, no reveló diferencias significativas entre los grupos formados para ninguno de los ácidos grasos saturados en particular, ni para su concentración total; explicando los Ambientes un porcentaje, de la suma de cuadrados totales, muy inferior al de las localidades, lo cual indica que otros fueron los factores con efecto sobre la variabilidad en la concentración de estos ácidos (Tabla A8.1).

Las correlación entre las concentraciones de ácido esteárico, ácido palmítico y total de ácidos saturados con rendimiento, número de granos o peso de granos no fueron significativas ($p>0.1$, Tabla A8.2). En función del análisis anterior no fue posible asociar la concentración de ácidos esteárico y palmítico a la productividad del Ambiente. Ello contrasta con lo informado en trabajos que indican que en situaciones de estrés la concentración de palmítico podría incrementarse y reducirse la de esteárico (Anastasi *et al.*, 2010; Flagella *et al.*, 2004; Flagella *et al.*, 2002; Jalilian *et al.*, 2012; Sezen *et al.*, 2011).

El ácido mirístico fue el único ácido graso saturado que presentó correlación significativa y directa con el rendimiento en aceite ($R=0,49$, $p<0,0001$, $n=55$, Figura 8.1) y con el número de granos ($R=0,60$, $p<0,0001$, $n=55$) e inversa con el peso de granos ($R= -0,43$, $p=0,001$, $n=55$) (Tabla A8.2). El análisis de varianza reveló que el grupo de menor productividad presentó menor concentración de ácido mirístico respecto a las otras dos agrupaciones (Tabla A8.1), apoyando lo observado a través del análisis de correlación. La interacción cultivar por rendimiento no fue significativa ($p=0,659$).

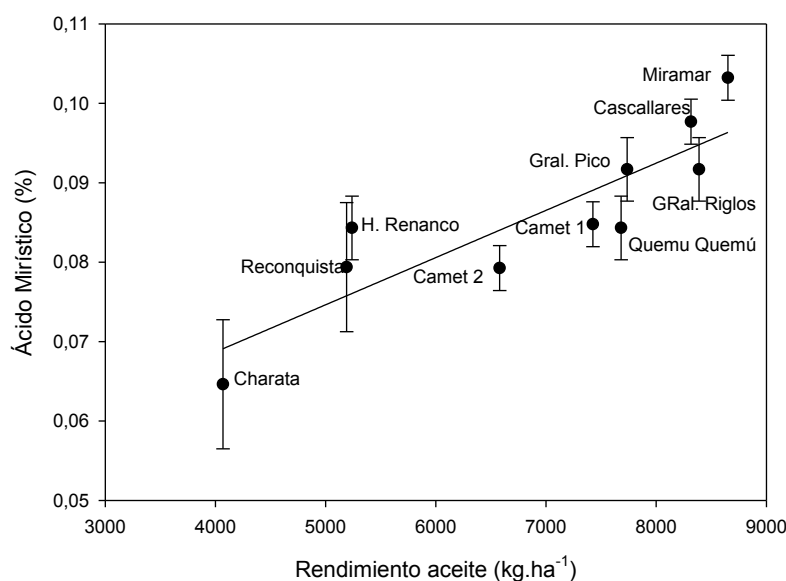


Figura 8.1: Variación de la concentración de ácido mirístico en función del rendimiento medio en aceite. Símbolos llenos valores medios, barras corresponden a los desvíos estándares de cada localidad reflejando las variaciones de Genotipos dentro de la misma. Modelo lineal simple: $a = \text{valor de la ordenada al origen}$, $b = \text{pendiente de la función}$ ($a = 0,0449$, $b = 5,9454E-006$, $R^2 = 0,762$, $p = 0,001$, $n = 11$). Efecto de las condiciones ambientales sobre ácidos grasos saturados en función de las zonas agroecológicas.

b) Efecto de las condiciones ambientales sobre ácidos grasos saturados en función de las zonas agroecológicas.

Al considerar la agrupación de localidades en función de las zonas agroecológicas se observó que el único ácido graso saturado con diferencias significativas entre los grupos fue el ácido mirístico, con valores superiores en la zona SUR con respecto al NEA y valores intermedios para la zona OESTE. Esta agrupación, en función de la diferencia de medias, fue semejante a la observada para rendimiento (comparar Tablas 3.1 y A8.1), robusteciendo los resultados anteriores en cuanto a la asociación positiva entre productividad media y concentración de ácido mirístico.

c) Efecto del contenido de nitrógeno inicial sobre la concentración de ácidos grasos saturados en el aceite

El análisis de varianza para la agrupación de localidades en función del contenido de nitrógeno no presentó diferencias significativas entre los diferentes grupos para el % de saturados totales, ácido palmítico y ácido esteárico (Tabla A8.1). El ácido mirístico reveló en el grupo óptimo mayor concentración, lo cual podría estar en relación a lo observado sobre el efecto del Ambiente productivo.

Los análisis de correlación y de sendero no revelaron asociación entre el contenido de nitrógeno y la concentración de los ácidos grasos saturados (Tabla A8.2, Figura 8.2).

A través de los diferentes ensayos realizados y de los diferentes métodos de análisis no fue posible comprobar efecto del nitrógeno sobre la concentración de ácidos grasos saturados. Las respuestas observadas estuvieron principalmente relacionadas a las condiciones del Ambiente. Zheljaskov *et al.* (2009), encontraron que la aplicación

de nitrógeno tiende a incrementar la concentración de ácidos grasos saturados, sin embargo indicaron que algunos de los híbridos evaluados no respondieron, lo cual podría explicar, en parte la diferencia en los resultados encontrados por dichos autores y en esta tesis.

d) Efecto de las características climáticas

La humedad relativa fue la variable con mayor influencia sobre la concentración de ácidos esteárico, palmítico y sobre el porcentaje de ácidos grasos saturados totales. Se observó que a mayor humedad menor fue la concentración de ácidos grasos saturados totales.

La humedad ambiental fue caracterizada estimando humedad relativa (HR), déficit de presión de vapor (DPV) y presión de vapor a saturación (PVS). De este conjunto de características se seleccionó a HR por ser la característica que mayor proporción de la variabilidad total explicó; por ejemplo para el porcentaje total de ácidos grasos saturados, en la etapa R5+100-300°Cd, el coeficiente de Pearson con HR fue $R = -0,78$, $p < 0,0001$, $n = 55$, con DPV fue $R = 0,64$, $p < 0,0001$, $n = 55$ y con PVS fue $R = -0,08$, $p = 0,5758$, $n = 55$.

El análisis de sendero (Figura 8.2) indicó un efecto directo negativo sobre la concentración de ácidos grasos saturados de la humedad relativa (Coef. de paso directo = $-0,59$), con un coeficiente de Pearson altamente significativo ($R = -0,78$, $p < 0,0001$, $n = 50$); respuesta semejante fue observada para los ácidos esteárico, palmítico y mirístico (Tabla A8.2).

La relación entre la humedad relativa y los ácidos saturados fue significativa en todas las particiones realizadas a partir de R5.5, con un mayor valor del coeficiente de correlación en R5+100-300°Cd, momento en el cual explicó el 42,9% de la SC (Tabla A8.3). Las pendientes de las curvas de respuesta de los ácidos esteárico y palmítico, a variaciones en la HR, fueron semejantes (Figura 8.3), indicando que no hubo interacción en su respuesta.

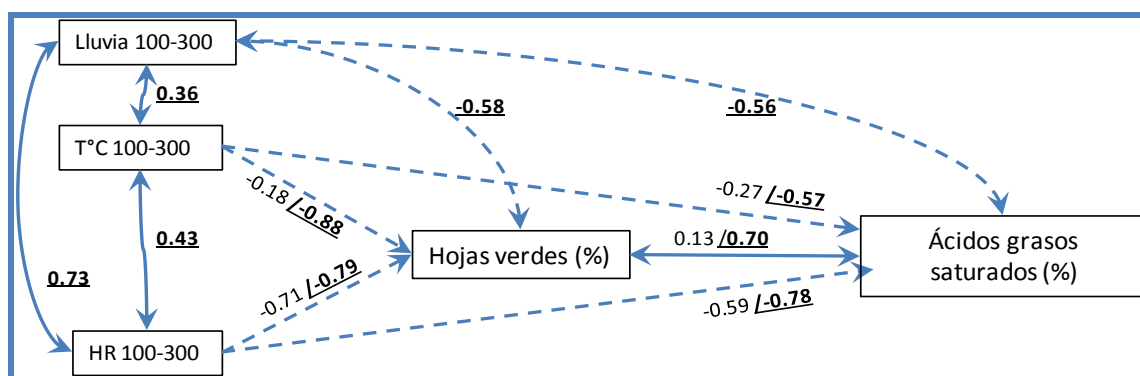


Figura 8.2: Representación esquemática de las relaciones causa/efecto sobre la concentración de ácidos grasos saturados en aceite, para la etapa fenológica R5+100-300°Cd, de características fenotípicas y factores ambientales, determinadas por el análisis de correlaciones simples y parciales. Términos de coeficientes de correlación parcial (efectos directos) son representados por vectores unidireccionales y por valores sin subrayar. Coeficientes de correlación de Pearson representados por arcos bi-direccionales y/o por valores subrayados. Líneas continuas representan relaciones directas, líneas punteadas relaciones inversas. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de aquellas otras utilizadas en esta figura.

Si bien no se encontró un efecto directo, significativo, del porcentaje de hojas verdes sobre la concentración de ácidos grasos (coef. de paso directo = $0,13$), el coeficiente de Pearson fue altamente significativo ($R = 0,70$, $p < 0,0001$, $n = 50$), asociado al efecto de la humedad relativa sobre el porcentaje de hojas verdes en R7 ($R = -0,79$,

$p < 0,0001$, $n=50$) (Figura 8.2). La correlación del porcentaje de hojas verdes en R7 fue, también, significativo con ácido esteárico ($R = 0,63$, $p < 0,0001$, $n=50$), con palmítico ($R = 0,61$, $p < 0,0001$, $n=50$) y con mirístico ($R = 0,36$, $p = 0,001$, $n=50$); sin interacción por Genotipo ($p > 0,5$).

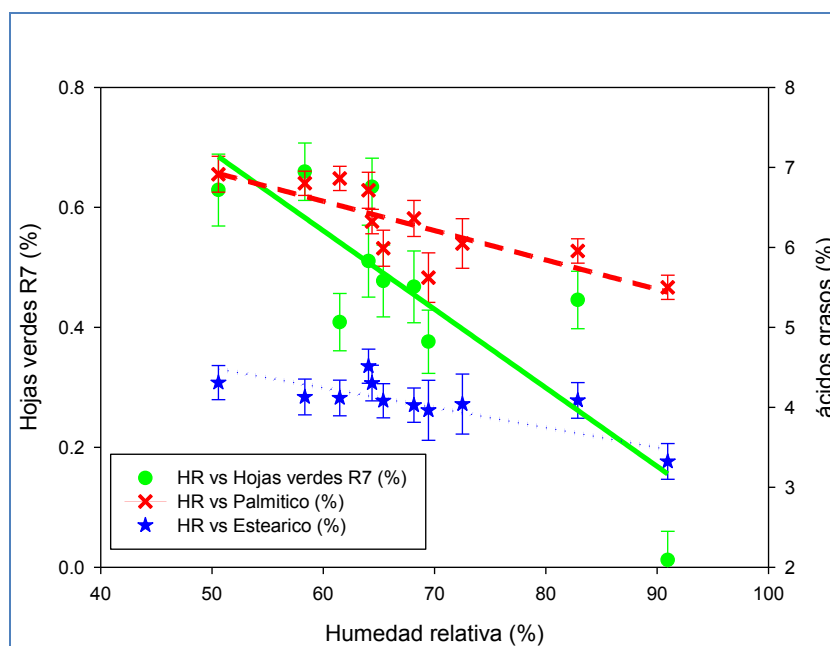


Figura 8.3: Relación entre el porcentaje de hojas verdes en R7, ● línea continua verde, ($a=1,347$, $b=-0,0131$, $R^2=0,672$, $p=0,003$), de la concentración en aceite de ácido palmítico, × línea partida roja, ($a=5,736$, $b=-0,024$, $R^2=0,701$, $p=0,0025$) y de la concentración ácido esteárico, ★ línea punteada azul, ($a=5,439$, $b=-0,02$, $R^2=0,568$, $p=0,008$) con la humedad relativa promedio en la etapa R5+100-300°Cd (HR). Modelo lineal simple: a = valor de la ordenada al origen, b = pendiente de la función. Los símbolos indican el valor medio de cada localidad y su desvío estándar, a través de cultivares. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta figura.

No se encontró en la bibliografía consultada referencias a una relación significativas entre humedad relativa y la concentración de los ácidos grasos saturados. Se hallaron referencias en relación a que altos valores de humedad relativa afectaron la concentración de aceite (Balalić *et al.*, 2012) y sobre que la concentración de ácidos saturados está asociada a la disponibilidad de fotosintatos durante el período de llenado de granos (Echarte *et al.*, 2012). Se podría generar la hipótesis que el efecto de la humedad relativa sobre la concentración de ácidos saturados se produce al influir sobre la funcionalidad del aparato fotosintético del cultivo, asociado al efecto de enfermedades.

Las correlaciones directas encontradas entre el rendimiento en aceite ($R=+0,40$, $p=0,0028$, $n=50$), el peso de los granos ($R=+0,37$, $p=0,0095$, $n=50$) y el peso de aceite por grano ($R=+0,45$, $p < 0,0012$, $n=50$) con el porcentaje de hojas verdes relacionan la dinámica de fotoasimilados con el porcentaje de hojas verdes, dado que el rendimiento y la acumulación de aceite en girasol depende de la economía del carbono durante el periodo de llenado de granos (Andrade y Ferreiro, 1996; Dosio *et al.*, 2000; Estrada, 1999), afectando la disponibilidad de fotoasimilados a la concentración de ácidos grasos saturados (Echarte *et al.*, 2012). Estos puntos soportan a la hipótesis anteriormente planteada.

El efecto de las precipitaciones está asociado a lo discutido anteriormente con respecto a HR (Figura 8.2). Su efecto directo no fue significativo (coef. de paso directo

= -0,13), con un coeficiente de Pearson ($R=-0,56$, $p<0,0001$, $n=55$) menor a lo observado para HR, con la cual está correlacionada fuertemente ($R=+0,73$, $p<0,0012$, $n=55$).

La característica ambiental con mayor efecto sobre la concentración de ácidos grasos saturados en aceite fue la temperatura mínima diaria, con un efecto directo negativo (coef de paso directo = -0,27, $R=-0,57$, $p<0,0001$, $n=555$, Figura 8.2). Estos resultados coinciden con los previamente reportados en la bibliografía consultada, en cuanto a que a mayor temperatura menor concentración de ácidos grasos saturados (Izquierdo y Aguirrezábal, 2008; Izquierdo *et al.*, 2006).

El efecto negativo observado de la temperatura sobre la concentración de ácidos grasos saturados también fue observado para el ácido mirístico (59,3% de la SC) y para el ácido palmítico (23,1% de la SC); no habiéndose encontrado efecto significativo sobre la concentración de ácido esteárico ($p=0,09$) (Anexo I, Tablas A8.3, A8.4, A8.5 y A8.6).

Los efectos sobre la concentración de ácidos grasos saturados en aceite de la temperatura y de la HR están estrechamente relacionados. En Ambientes con temperaturas mínimas inferiores a 13,4°C, durante el período R5+100-300°Cd, el factor de mayor incidencia para la determinación de la concentración de ácidos grasos saturados fue el Genotipo. La humedad relativa reveló una influencia significativa en los Ambientes con temperatura mínima superior a 13,4°C. En los Ambientes con HR elevadas, en este caso superiores a 90,2%, no se encontraron diferencias entre los cultivares (Figura 8.4).

Los cultivares fueron agrupados, por el análisis de partición recurrente, de manera semejante a lo observado en el análisis de comparación de medias (comparar Figura 8.4y Tabla A8.1).

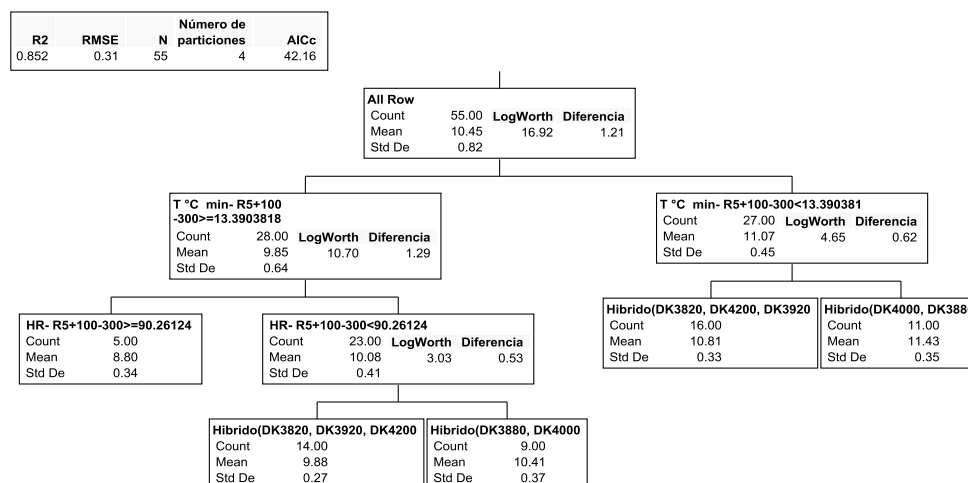


Figura 8.4: Partición dicotómica de los valores observados de concentración de ácidos grasos saturados en aceite en función de Genotipos y datos observados de características fenotípicas y factores ambientales, generados por el método de partición recurrente. Cada rectángulo indica el nombre de la característica y valor de la misma en función de la cual se generó la partición, el número total de observaciones involucradas en cada grupo (count), el valor medio del grupo (mean) y su desvío estándar (Std Dev), así como la amplitud de los valores observados dentro de cada grupo (diferencia) cuando este fue vuelto a subdividir. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta figura.

El análisis de regresión multivariada no indicó una relación significativa entre los ácidos grasos saturados y el PAR incidente (Tabla A8.3), lo cual podría deberse al

efecto observado de la HR sobre el porcentaje de hojas activas. Al realizar el análisis incluyendo solamente a las 5 localidades en las cuales el valor de HR fue inferior a 65% (valor determinado por análisis de partición recurrente), el efecto del PAR incidente fue positivo explicando el 4,3% de la SC ($p=0,0125$). El análisis de regresión demostró una alta relación ($R=0,977$, $p=0,0039$, $n=5$) entre el porcentaje de ácidos grasos saturados y la radiación incidente. Los resultados encontrados del efecto de la radiación coinciden con los presentados en trabajos previamente realizados (Echarte *et al.*, 2010a; Echarte *et al.*, 2012; Santalla *et al.*, 1995; Tremolieres *et al.*, 1982).

Altos valores relativos de ácidos grasos saturados, para cultivares tradicionales, pueden ser obtenidos, en primera instancia, en Ambientes con buenas condiciones de crecimiento y desarrollo del cultivo, relacionados a Ambientes con potencial productivo alto y buena relación fuente destino hasta madurez fisiológica y en segundo lugar por selección del material apropiado.

C. Ácidos grasos insaturados

La concentración de ácido oleico en el aceite de girasol presentó un valor medio de 31,9% con un desvío estándar de 10,4%, variando entre un valor máximo de 56,7% y un valor mínimo de 17,4%. La concentración en aceite del ácido linoleico presentó un valor medio de 57,6% con un desvío estándar de 9,9%, un valor máximo de 71,7% y un valor mínimo de 33,7%. El contenido de ácido linolénico presentó un valor promedio de 0,07% con un desvío estándar de 0,03%, un valor máximo de 0,13% y un valor mínimo de 0,01% (Tabla A3.1). En general los valores observados se encuentran entre los márgenes citados por la bibliografía consultada para cultivares tradicionales (Izquierdo *et al.*, 2002; Izquierdo *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2010; Onemli, 2012). La distribución de los datos se ajustó a la curva normal.

Se encontró una alta relación inversa, del contenido de ácido oleico en función del linoleico ($R=0,99$, $p<0,0001$, $n=55$) sin interacción significativa entre cultivares ($p=0,985$). El valor de la pendiente de respuesta ($b= -1,0394 \pm 0,01$, $p<0,0001$) fue superior a 1, indicando que la variación en ácido oleico antes cambios en la concentración de linoleico, fue levemente superior. El valor de la ordenada al origen fue $a=91,75 \pm 0,615$. En función de estos resultados se puede considerar que el efecto de los factores estudiados en este trabajo sobre estos dos ácidos grasos insaturados es equivalente y de signo contrario, por lo cual los análisis pueden ser realizados considerando a uno solo de los mismos, habiéndose seleccionado al ácido oleico.

La relación de la concentración de ácido linolénico en función de ácido oleico ($R= -0,83$, $p<0,0001$, $n=55$) fue inversa, sin interacción entre Genotipos en la respuesta ($p=0,963$). La pendiente de respuesta fue $b= -0,0025 \pm 0,0002$, $p<0,0001$ y el valor de la intercepción fue $a= 0,155 \pm 0,008$, $p<0,0001$.

1. Contribución relativa de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E - Determinación de la fase ontogénica de máxima respuesta al efecto combinado de factores ambientales

Los análisis de varianza de los ácidos grasos insaturados, de la relación mono / poli insaturados y de la concentración de poli insaturados en aceite explicaron una proporción superior al 94% de la variabilidad total (Tabla A8.7), siendo en todos los

casos altamente significativos ($p < 0,0001$). La contribución relativa del Genotipo a la variabilidad total fue inferior a la del Ambiente (Tabla A8.7 – Tabla A8.8). Ninguno de los modelos desarrollados presentó un efecto del Genotipo superior al 8% de la SC. La contribución relativa del Ambiente fue del 79% para ácidos oleico y linoleico y del 52,9% para linolénico.

Si bien la variabilidad total debida al Genotipo fue baja estos presentaron diferencias significativas. Los grupos de cultivares conformados en función del ácido linoleico y porcentaje de materia grasa fueron semejantes e inversos al conformado en función del ácido oleico (comparar Tabla 3.1 y Tabla A8.7) de acuerdo a lo discutido previamente. DK4000 se diferenció del resto de los cultivares evaluados por presentar menor concentración de ácido linolénico (Tabla A8.7); además fue el cultivar que presentó valores superiores de ácidos grasos saturados (Tabla A8.1) y de ácido oleico (Tabla A8.7). El efecto de la interacción $G \times E$ no fue significativa para ninguno de los modelos analizados (Tablas 32 y 33). Estos resultados difieren con los reportados por Izquierdo y Aguirrezabal (2008) y por Izquierdo *et al.* (2006), los cuales encontraron respuesta diferencial entre híbridos a la temperatura, tanto en los valores mínimos como en la tasa de respuesta a cambios en la temperatura, indicando una fuerte interacción $G \times E$.

2. Determinación del momento de mayor impacto de las características ambientales.

El análisis de regresión multivariada, llevado a cabo a los efectos de evaluar los cambios en la concentración de los distintos ácidos grasos insaturados en aceite ante variaciones en las características ambientales, así como para identificar las etapas de desarrollo del cultivo con mayor sensibilidad o respuesta a los mismos, mostró que el momento de máxima respuesta para los 3 ácidos insaturados fue semejante. En el Anexo I se presentan los resultados del análisis de regresión multivariada para el ácido oleico (Tabla A8.8), para el ácido linoleico (Tabla A8.9) y para el ácido linolénico (Tabla A8.10).

Las mayores respuestas de la concentración de ácido oleico en aceite ante cambios en las características del Ambiente, con respecto al periodo total de cultivo, se observaron a partir de 100°Cd desde floración (Tabla A8.8). El momento ontogénico que presentó el mayor ajuste ($R=0,966$) fue el período comprendido entre R5.5+250-450°Cd, la característica de mayor efecto sobre la variabilidad total fue la temperatura mínima (79,5% de la SC), observándose efectos significativos del agua útil (5,9% de la SC), de la HR (0,94% de la SC) y del PAR (0,95 de la SC); explicando las características ambientales un total de 87,3% de la variabilidad total (Tabla A8.8).

La etapa comprendido entre R5.5+100-300°Cd, presentó un ajuste levemente inferior al anterior ($R=0,955$), explicado principalmente por la temperatura mínima (82,9% de la SC), con menor participación del agua útil disponible (3,6% de la SC) y sin incidencia de los otros factores evaluados. Estos resultados coinciden con lo reportado anteriormente por Izquierdo *et al.* (2006), en cuanto a que el período de máxima respuesta a la temperatura se daría en la etapa R5.5+100-300°Cd, pero al considerar la acción conjunta de otras características ambientales la etapa de máxima sensibilidad o respuesta estaría ubicado en R5.5+250-450°Cd.

Los valores observados de temperatura ($R = 0,85$), agua útil ($R = 0,77$) y PAR incidente ($R = 0,94$) estuvieron altamente correlacionados ($p < 0,0001$) entre las etapas fenológicas de $R5+100-300^{\circ}\text{Cd}$ y $R5+250-450^{\circ}\text{Cd}$ (Tabla A3.11). La menor correlación entre estas etapas fenológicas fue observada para la HR ($R = 0,54$), la cual presentó valores significativamente menores en el período $R5+100-300^{\circ}\text{Cd}$, donde no demostró efecto significativo sobre la concentración de ninguno de los ácidos grasos insaturados evaluados. Los valores del coeficiente de Pearson entre las características ambientales seleccionadas pueden observarse en Tabla A3.11

3. Relación de la concentración de ácidos grasos insaturados con otras características genotípicas.

La correlación entre la concentración de ácido oleico con el porcentaje de aceite en grano fue negativa ($R = -0,61$, $p = 0,0001$, $n = 50$), mientras que con el porcentaje de proteínas en grano ($R = 0,71$, $p < 0,0001$, $n = 50$) fue positiva. El mayor nivel predictivo de la concentración de ácido oleico en aceite se obtuvo utilizando la relación proteínas/aceite, relación que podría ser considerada como un índice ambiental (Figura 8.5), indicador del nivel de estrés, sin interacción significativa entre los distintos cultivares evaluados.

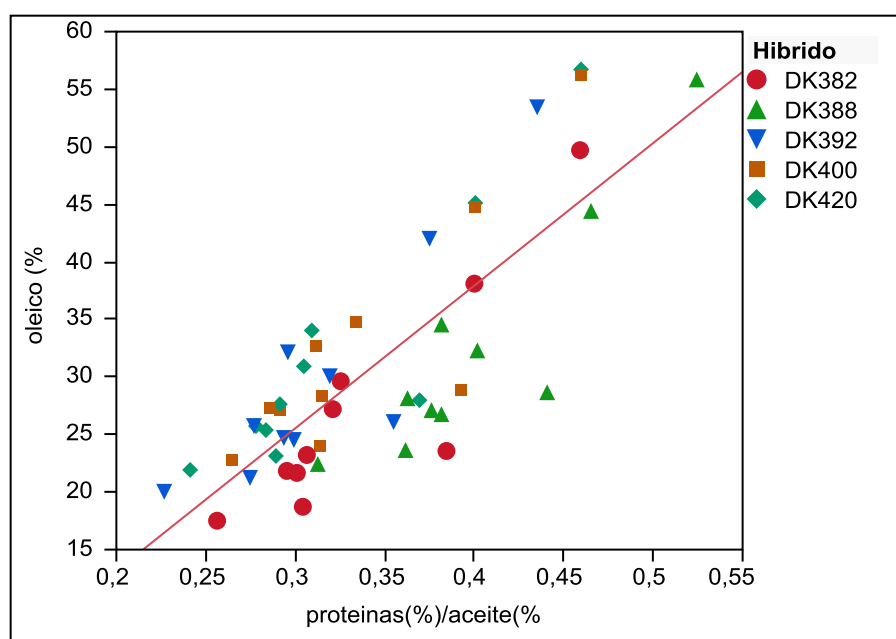


Figura 8.5: Variación en la concentración de ácido oleico en aceite en función de la relación proteínas (%) / aceite (%) considerada como índice ambiental. ($R^2 = 0,655$, $p < 0,0001$, $\text{oleico (\%)} = -11,62068 + 123,87563 * \text{proteínas (\%)} / \text{aceite (\%)}$). Símbolos de colores identifican a los Genotipos y la dispersión de valores de cada color al efecto localidad. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de las abreviaturas utilizadas en esta figura.

La relación entre ácido oleico y tocoferoles en aceite fue positiva (coef de paso directo = $0,31$) y puede ser observada al eliminar del análisis a las localidades del NEA (Figura 8.6). La correlación negativa observada entre ácido oleico y la concentración de tocoferoles en aceite ($R = -0,37$, $p = 0,0087$, $n = 50$) refleja los efectos inversos sobre la concentración de tocoferoles en aceite de la temperatura (coef de paso indirecto = $-0,23$) y del peso de los granos (coef. de paso indirecto = $-0,48$), discutidos en el capítulo 7.

El análisis de la relación de fosfolípidos con la concentración de ácido oleico en aceite tuvo que ser realizada con las mismas consideraciones, no incluyendo en el análisis a las localidades de la zona NEA. La relación fue negativa y de menor valor predictivo ($R=-0,374$, $p=0,0203$, $n=45$) (Tabla A8.11).

Los resultados anteriores ponen de manifiesto que al considerar la relación entre las variables de calidad del aceite de girasol hay que considerar de manera cuidadosa el efecto de las características ambientales en forma conjunta.

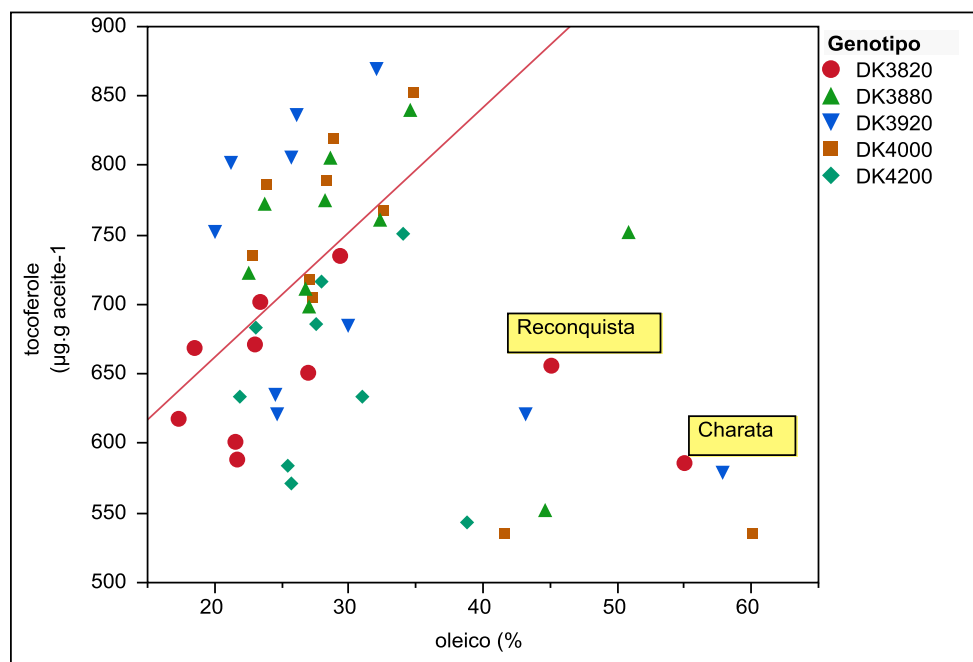


Figura 8.6: Variación del contenido de tocoferoles en aceite en función de la concentración de ácido oleico ($R^2=0,238$, $p=0,0016$, $\text{tocopheroles (mg.kg aceite}^{-1}) = 482,42057 + 8,9853425 \cdot \text{oleico (\%)}$). Las localidades del NEA no fueron incluidas en la ecuación, su posición relativa al resto de las localidades es identificada por la etiqueta de las localidades para DK3820. Símbolos de colores identifican a los Genotipos y la dispersión de valores de cada color al efecto localidad. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de las abreviaturas utilizadas en esta figura.

4. Respuesta de los ácidos grasos insaturados a la variación del rendimiento en aceite, del peso y número de granos y de los factores ambientales en forma combinada.

a) Relación con el rendimiento en aceite, peso y número de granos.

A través del análisis de varianza y del análisis de correlación multivariada se encontraron evidencias de relaciones significativas entre rendimiento en aceite y la concentración de ácido oleico en el mismo. Estos resultados son coincidentes con lo reportado por la literatura, en cuanto a que los mayores contenidos de ácido oleico, en cultivares convencionales, se obtendrían en Ambientes de bajos rendimiento (Anastasi *et al.*, 2010; de la Vega y Hall, 2002a; de la Vega y Hall, 2002b; Flagella *et al.*, 2004; Flagella *et al.*, 2002; Jalilian *et al.*, 2012; Sezen *et al.*, 2011).

En el análisis de varianza, se observaron diferencias significativas entre las agrupaciones de localidades en función del rendimiento medio en aceite (Tabla A8.7), indicando que el grupo de “bajo” rendimiento presentó valores superiores de ácido oleico respecto a los grupos con rendimiento “medio y alto”. Esta diferencia estuvo

asociada a que el grupo de bajo rendimiento presentó, respecto a los restantes, mayor peso de granos, temperaturas más elevadas y menores registros de CQ y HR (Tabla A 3.3).

El análisis de regresión, no lineal de dos tramos con plateau (Di Rienzo *et al.*, 2012) demostró que en la relación del ácido oleico con rendimiento se pueden distinguir dos fases (Figura 8.6), una significativa (intercepción = 76.54, ordenada al origen = -0,035; $R = -0,645$, $p = 0,009$, $n = 15$), que incluye a las localidades del NEA y a Huinca Renanco, y la otra en la cual no se observó respuesta ($R = -0,277$, $p = 0,106$).

Para cada uno de los dos grupos de localidades, identificados por el análisis de regresión entre rendimiento y concentración de ácido oleico en aceite (Figura 8.6), se realizaron análisis regresión multivariada para observar la variación del ácido oleico en función de la variación conjunta de temperatura en el período R5+250-450 y rendimiento, los cuales revelaron que el aporte del rendimiento no fue significativo (grupo de localidades con respuesta (primera fase): ajuste del modelos $R = 0,966$, $p < 0,0001$: efecto del rendimiento $p = 0,1247$; grupo de localidades sin respuesta (segunda fase): ajuste del modelos $R = 0,483$, $p = 0,015$: efecto del rendimiento $p = 0,1542$), sugiriendo que las relaciones observadas anteriormente entre ácido oleico y rendimiento reflejan el efecto de la temperatura.

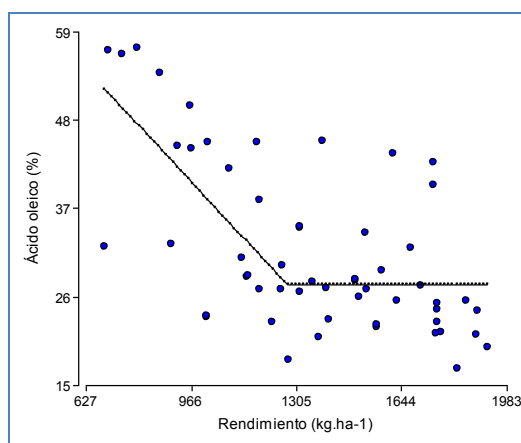


Figura 8.7: Variación de la concentración de ácido oleico en función del rendimiento en aceite. El modelo de mayor ajuste fue un modelo lineal en dos tramos con plateau: primera fase: intercepción = 76,54, ordenada al origen = -0,035; $R = -0,645$, $p = 0,009$, $n = 15$). Punto de quiebre 1274 kg.ha^{-1} . Los símbolos representan a los valores observados de Genotipos por localidad. Anexo I, Tabla A 8.12 se presentan los parámetros de la función.

La relación mono insaturados/poli insaturados respondió de manera semejante, ante cambios en el rendimiento, a lo observado para ácido oleico. La respuesta del ácido linolénico fue inversa a la observada para ácido oleico (Tabla A8.11).

Los resultados anteriores indican que la concentración de ácidos grasos insaturados no está relacionada en forma directa con el rendimiento; la relación observada está reflejando el efecto de otros factores, como la temperatura, los cuales poseen influencia directa sobre estas características.

El peso de los granos demostró un efecto directo, positivo, sobre la concentración de ácido oleico (coef. de paso directo = 0,40, $R = 0,62$, $p < 0,0001$, $n = 55$) (Figura 8.8).

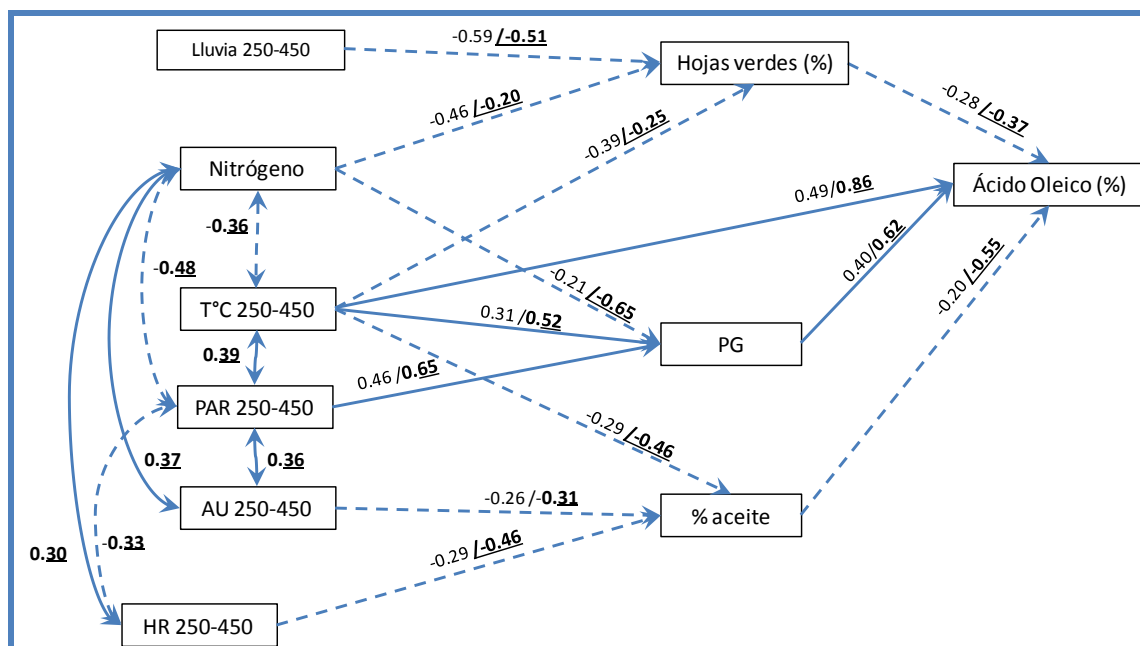


Figura 8.8: Representación esquemática de las relaciones causa/efecto sobre la concentración de ácido oleico en aceite, para la etapa fenológica R5+250-450°Cd, de características fenotípicas y factores ambientales, determinadas por el análisis de correlaciones simples y parciales. Términos de coeficientes de correlación parcial (efectos directos) son representados por vectores unidireccionales y por valores sin subrayar. Coeficientes de correlación de Pearson representados por arcos bi-direccionales y/o por valores subrayados. Líneas continuas representan relaciones directas, líneas punteadas relaciones inversas. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta figura.

b) Efecto de las condiciones ambientales sobre la concentración de ácidos insaturados en función de las zonas agroecológicas

Las diferencias observadas en la concentración de ácidos grasos insaturados y sus relaciones a través de las zonas agroecológicas (Tabla A8.7) responden, tal lo discutido en el punto anterior, mayoritariamente al efecto de la temperatura y del peso de los granos (Tabla A3.2).

c) Efecto del contenido de nitrógeno inicial sobre la concentración de ácidos insaturados en aceite

El análisis de la varianza de la agrupación de Ambientes en función del contenido de nitrógeno no presentó diferencias significativas entre los diferentes grupos (Tabla A8.7).

No se encontraron evidencias, por el análisis de sendero, de un efecto directo sobre la concentración de ácidos grasos insaturados del nitrógeno, sino a través de su efecto sobre el peso de los granos y sobre el porcentaje de hojas verdes en R7 (Figura 8.5), relaciones que explican la correlación encontrada ($R=-0,43$, $p=0,0011$, $n=55$).

El ensayo de respuesta a la fertilización demostró que la fertilización nitrogenada puede incrementar la concentración de ácido oleico en una proporción relativamente baja (5% de respuesta media), sin diferencias significativas entre momentos de aplicación del fertilizante, a la siembra o en V6 (Tabla 8.1). Aunque significativo, el efecto de la fertilización capturó el 0,5% de la variabilidad total, remarcando que el efecto de las condiciones de Ambientes son las de mayor peso sobre

el contenido de los ácidos grasos insaturados (Tabla 8.1). El efecto de la fertilización nitrogenada no fue significativo para la concentración de ácido linolénico.

Tabla 8.1: Análisis de la varianza y comparación de valores medios de los datos obtenidos en el ensayo de respuesta a la fertilización para las concentraciones de ácido oleico y linolénico en aceite. Los Ambientes, grupo, fueron agrupados según lo descrito en el Capítulo 3, apartado 5. n: grados de libertad de cada efecto principal. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Letras distintas, dentro de cada característica y subtabla, indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Consultar índice de abreviaturas en la página xviii para el significado de las otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

R^2		Oleico (%)			Linolenico (%)		
		98,1%			88,7%		
Fuente Variación		n	% SC	Prob > F	n	% SC	Prob > F
	Agrup. Ambientes	3	91,7%	<.0001	3	57,5%	<.0001
	localidad[agrup. ambiente]	14	5,8%	<.0001	14	20,2%	0,0246
	Fertilización N	2	0,5%	0,0207	2	4,3%	0,1361
	Fertilización N× Agrup Ambientes	6	0,1%	0,9322	6	6,7%	0,1837
Valores medios estimados (%)							
Agrupación de ambientes por nitrógeno y rendimiento	óptimo	18,8		D	0,09		A
	Alto N	27,2		C	0,04		B
	Bajo Rinde	31,9		B			
	NEA	48,1		A	0,05		B
Fertilización Nitrogenada	Testigo	30,5		B	0,07		A
	N a la siembra	31,9		A	0,06		A
	N en V6	32,1		A	0,05		A

d) Efecto de los factores ambientales

La variabilidad observada de la concentración del ácido oleico en aceite fue explicada mayormente por la temperatura mínima, la cual capturó el 79,5% de la SC por el análisis de regresión multivariada (Tabla A8.8). Además fue la única variable que ingresó en el análisis de partición recurrente (Figura 8.9), a través del cual se explicó el 95% de la variabilidad total. Estos resultados coinciden con lo observado por investigaciones previas realizadas con metodologías de experimentación y análisis diferentes. (Izquierdo *et al.*, 2002; Izquierdo *et al.*, 2006; Onemli, 2012; Roche *et al.*, 2006).

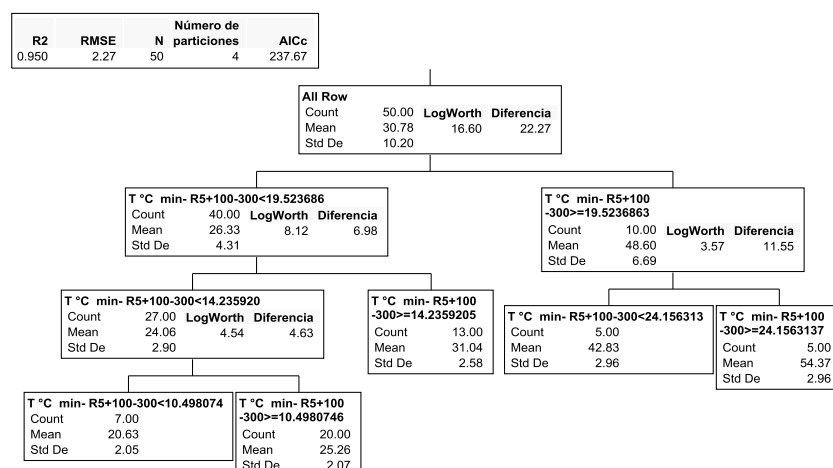


Figura 8.9: Partición dicotómica de los valores observados de concentración de ácido oleico en aceite en función de Genotipos y datos observados de características fenotípicas y factores ambientales, generada por el método de partición recurrente. Cada rectángulo indica el nombre de la característica y valor de la misma en función de la cual se generó la partición, el número total de observaciones involucradas en cada grupo (count), el valor medio del grupo (mean) y su desvío estándar (Std Dev), así como la

amplitud de los valores observados dentro de cada grupo (diferencia) cuando este fue vuelto a subdividir. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta figura.

Las curvas de regresión de la concentración de ácido oleico con los registros de temperatura de los momentos ontogénicos R5+100-300°Cd y R5+250-450°Cd desde floración fueron semejantes (Anexo I, Figura A8.4). El modelo de mayor ajuste obtenido para la relación entre ácido oleico y temperatura fue una función cuadrática para la etapa fenológica R5+100-300°Cd ($R^2=0,92$, $p<0,0001$, Figura 8.10). En los datos obtenidos en esta tesis no se llegó a observar un valor máximo de temperatura a partir del cual no se registre incrementos en el porcentaje de ácido oleico, tal lo encontrado por Tremolieres *et al.* (1982) para temperaturas medias diarias superiores a 27°C o por Izquierdo *et al.* (2006), para temperaturas mínimas nocturnas superiores a 22,6°C. Se observó efecto significativo del Genotipo ($p=0,01$) sin interacción híbrido por temperatura significativa ($p=0,989$).

Al comparar la fase lineal del modelo propuesto por Izquierdo *et al.* (2006) con una regresión lineal de los valores observados en este trabajo se observó que las pendientes de las curvas de respuestas fueron estadísticamente diferentes ($p<0,0001$). El modelo propuesto por Izquierdo *et al.* (2006) subestimó los valores observados con temperaturas mínimas inferiores a 17°C, estimado, ambos modelos, valores semejantes en temperaturas superiores a este valor, considerando que a partir de los 22,6°C comienza una fase sin respuesta (Anexo I, Figura A8.5).

Tanto el análisis de regresión bilineal (datos no mostrados) como el de partición recurrente (Figura 8.9) revelaron que el punto de diferenciación de las pendientes, estaría ubicado en 19,5°Cd, separando por un lado a las localidades correspondientes a NEA y por otro al resto. Como se puede deducir de la Figura 8.9, la pendiente de respuesta fue mayor en el rango de temperaturas superiores a 19,5°C.

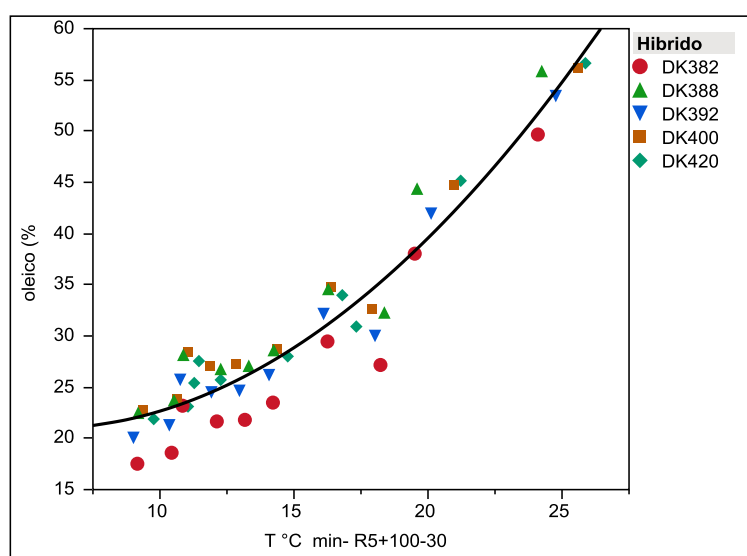


Figura 8.10: Variación de la concentración de ácido oleico en función de la temperatura mínima media en la etapa fenológica R5+100-300°Cd. ($R^2=0,922$, $p<0,0001$). Oleico (%) = $3,6210507 + 1,6823133 \times T \text{ °C min- R5+100-30} + 0,0902188 \times (T \text{ °C min- R5+100-30} - 14,9611)^2$. Símbolos de colores identifican a los Genotipos y la dispersión de valores de cada color al efecto localidad. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de las abreviaturas utilizadas en esta figura.

Para la determinación de la composición ácida la interrelación temperatura con agua disponible es crítica y debería ser considerada cuidadosamente al estudiar el efecto del agua, principalmente en este tipo de ensayos con amplia variación en la relación entre estos factores. Para la concentración de ácido oleico en aceite, el análisis de regresión multivariada, incluyendo temperatura y agua disponible reveló que la interacción entre estas dos características fue significativa (7% de la SC, $p < 0,0001$).

La partición de datos, para comprender la interacción, se realizó por análisis de clasificación, el cual identificó que en base a la concentración de ácido oleico se generaban 3 grupos de localidades (Figura 8.11). El grupo de mayor concentración de ácido oleico (2), incluyó solamente a la localidad de Charata, presentó valores superiores en todas las características. El grupo 1, que incluyó a localidades de las tres zonas agroecológicas, presentó respecto a las localidades del grupo 3 mayor disponibilidad de agua útil, sin diferencias en temperatura. El grupo 3 abarcó a localidades del SUR y del OESTE (Figura 8.11). La inclusión de localidades correspondientes a diferentes zonas agroecológicas dentro de cada grupo demuestra que esta agrupación de Ambientes, basada en posición geográfica, no es suficiente para discriminar Ambientes con altos contenidos de ácido oleico.

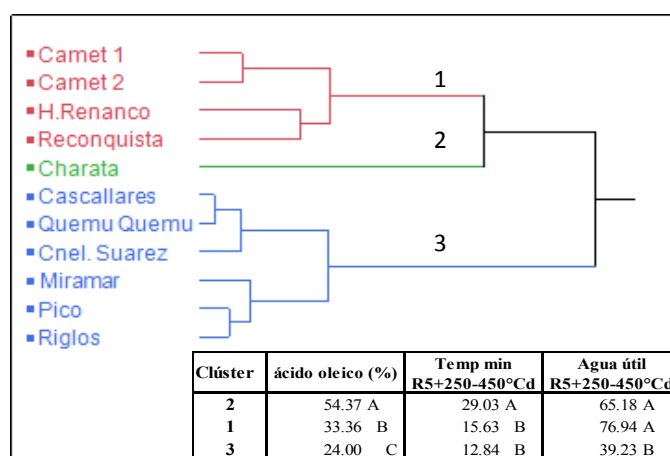


Figura 8.11: Representación gráfica del análisis de clasificación de localidades en función de temperatura mínima ($T^{\circ}\text{C min}$) y agua útil en la etapa fenológica R5+250-450°Cd. Colores diferentes identifican a las localidades incluidas en cada grupo. Rojo: grupo 1; Verde: grupo 2; Azul: grupo 3. Letras distintas, dentro de cada característica, indican diferencias significativas entre grupos ($p < 0.05$).

El PAR incidente reveló, por el análisis de regresión multivariada (Tabla A8.8), un efecto positivo sobre la concentración de ácido oleico a lo largo del período de llenado de granos, si bien significativo ($p < 0,05$) con niveles de explicación relativamente bajos de la variabilidad total ($< 1,5\%$); sin interacción significativa con temperatura ($p > 0,25$). Este bajo efecto del PAR sobre la variabilidad total de la concentración de ácido oleico está relacionado a que el efecto del PAR fue indirecto, reflejando su acción sobre el peso de los granos (Figura 8.8). La composición ácida no dependería directamente de la radiación solar interceptada sino de la disponibilidad de asimilados en el grano (Echarte *et al.*, 2012).

D. Conclusiones

La contribución del Genotipo a la variabilidad total de los ácidos grasos del aceite de girasol fue relativamente baja; siendo superior en los ácidos grasos saturados que en los insaturados. El ácido esteárico fue el que presentó mayor dependencia al Genotipo (17% de la SC). El principal factor determinante de la composición ácida fue el Ambiente, explicando valores superiores al 50 % en el caso de ácidos grasos saturados y del 80% de la variabilidad total en los ácidos grasos insaturados. No se observó interacción G×E significativa para ninguno de los modelos evaluados (Objetivo 1 este Capítulo).

El período de máxima respuesta a las características ambientales evaluadas, para los ácidos esteárico y palmítico y para el % de ácidos grasos saturados, fue el comprendido entre R5.5 +100-300°Cd. Los ácidos grasos insaturados respondieron a los cambios en las características ambientales a partir de 100°Cd desde floración, siendo la etapa fenológica con mayor efecto del Ambiente la comprendida entre 250-450°Cd desde floración (Objetivo 2 este Capítulo).

La concentración de ácido esteárico y palmítico no estuvo asociada a la productividad ambiental. Por contraste el ácido mirístico presenta una asociación significativa y directa con el rendimiento, tanto en aquenios como en aceite y con el número de granos. No se encontraron referencias previas sobre esta asociación (Objetivo 3 este Capítulo).

El análisis de los ácidos grasos insaturados volvió a demostrar la importancia de considerar las características ambientales en conjunto. En un primer análisis se observó relación inversa entre rendimiento y ácido oleico; al profundizar el análisis se observó que en realidad el factor que generaba esta relación era la temperatura; concluyendo que no se pudo asociar la concentración de los diferentes ácidos grasos insaturados a la productividad media (Objetivo 3 este Capítulo).

La característica ambiental que presentó mayor influencia sobre la concentración de ácidos grasos saturados fue la humedad relativa, a mayor humedad menor concentración de ácidos grasos saturados. La temperatura mínima presentó un efecto negativo sobre la concentración de ácido palmítico y ácido mirístico en aceite, sin relación con el ácido esteárico. El PAR presentó relación directa con la concentración de ácidos grasos saturados en aceite en los Ambientes con HR inferior al 65.1% (Objetivo 4 este capítulo).

Para los ácidos grasos insaturados, la temperatura mínima, especialmente en el período 100-300°Cd desde floración, fue el principal factor ambiental en explicar su concentración, aproximadamente el 80% de la variabilidad total observada. Al analizar otros factores ambientales, tales como efecto del agua disponible o de la radicación, hay que tener en cuenta la influencia de la temperatura, en cada una de las localidades, dado que puede llevar a consideraciones erróneas (Objetivo 4 este Capítulo).

El mayor nivel predictivo de la concentración de ácido oleico en aceite se obtuvo utilizando la relación proteínas/aceite, relación que podría ser considerada como un índice ambiental (Figura 8.5), indicador del nivel de estrés, sin interacción significativa entre los distintos cultivares evaluados.

El incremento en la concentración de ácido oleico estuvo correlacionado con disminución en la concentración de aceite, reflejando el efecto de la temperatura sobre estas características, por lo cual relación entre el nivel de insaturación del aceite con la concentración de aceite fue negativa (Objetivo 5 este Capítulo). La fuerte relación, positiva, encontrada entre la concentración de ácido oleico y la relación proteínas/aceite puede ser considerada como un índice ambiental, sin diferencias entre Genotipos.

Se identificó una relación directa entre la concentración de ácido oleico y tocoferoles en aceite, aunque ambos presentan una relación con la temperatura contraria. La relación con fosfolípidos en aceite, levemente significativa, fue inversa con ácido oleico (Objetivo 6 este Capítulo)

En el siguiente capítulo (Capítulo 9) se analizan los efectos del Genotipo, del Ambiente y de su interacción sobre la estabilidad oxidativa del aceite con una metodología de análisis semejante a la utilizada en los capítulos precedentes considerando, además los resultados obtenidos previamente.

Capítulo 9

ESTABILIDAD OXIDATIVA DEL ACEITE DE GIRASOL

Estabilidad oxidativa del aceite de girasol

En los capítulos anteriores se estudió el efecto del Genotipo, del Ambiente y de su interacción, así como el efecto combinado de las características del Ambiente, sobre la concentración en aceite de fosfolípidos, tocoferoles y de los diferentes ácidos grasos, características que contribuyen a la estabilidad del aceite. En este capítulo, y en relación con la estabilidad oxidativa del aceite, se analizan los efectos relativos del G, E y G×E sobre esta variable (Objetivo 1); se identifica el fase ontogénica de máxima respuesta de este indicador de calidad a las condiciones ambientales (Objetivo 2), cuantificando la respuesta de esta característica a los factores ambientales y sus relaciones con el rendimiento, con fosfolípidos, con los tocoferoles y con la composición ácida, para determinar su efecto combinado sobre la estabilidad oxidativa del aceite. Por último se describen las características de los Ambientes en la cuales se puede optimizar la estabilidad oxidativa del aceite (Objetivo 3).

A. Introducción

La estabilidad oxidativa se refiere a la resistencia del aceite a la oxidación de los lípidos, por procesos de auto oxidación, oxidación térmica, lumínica o hidrolítica. Estos procesos generan pérdida del valor nutricional del aceite, así como olores desagradables (Van der Merwe, 2010). La estabilidad oxidativa es un importante indicador de la calidad del aceite y un fuerte condicionante de la duración potencial su almacenaje (Martín-Polvillo *et al.*, 2004)

La incidencia de la autooxidación puede ser disminuido con un proceso post extracción de hidrogenado, pero en él se generan isómeros trans de los ácidos grasos, cuyo consumo suele estar asociado a una mayor incidencia de enfermedades cardiovasculares. En los últimos años se implementó la obligatoriedad de identificar aquellos productos que superen determinado valor de ácidos grasos trans (Eller *et al.*, 2005).

La estabilidad oxidativa ha sido asociada a su composición ácida (Eller *et al.*, 2005; Martín-Polvillo *et al.*, 2004; Merrill *et al.*, 2008; O'Keefe *et al.*, 1993; Smith *et al.*, 2007), al contenido de tocoferoles en aceite (Bozan y Temelli, 2008; Demurin *et al.*, 1996; Dolde *et al.*, 1999; Lampi y Kamal-Eldin, 1998; Merrill *et al.*, 2008; Nolasco *et al.*, 2004) y a la concentración de fosfolípidos (Cabrini *et al.*, 2001) en la misma. Estas relaciones no han sido demostradas, en aceites obtenidos en condiciones naturales, ya que la mayor parte de los experimentos donde se evaluó la estabilidad oxidativa fueron realizados en condiciones de laboratorio, y adicionando algunos de estos componentes al aceite para investigar su efecto sobre la estabilidad del mismo (Carelli *et al.*, 2005). En aceite de olivo proveniente de cultivos a campo, Tous y Romero (1993) encontraron que la estabilidad oxidativa varió acorde a localidades y a cultivares, recomendando que para su estimación se debería considerar las condiciones del Ambiente.

No se encontró en la literatura para girasol, ni para otros cultivos extensivos, estudios que consideren de manera conjunta los efectos del Genotipo, de las características del Ambiente y de su interacción, a través las diferentes etapas de desarrollo del cultivo sobre la estabilidad oxidativa del aceite, ni sus conexiones con el rendimiento y sus componentes. Asimismo, no se encontraron trabajos previos que

combinen información proveniente de una red de ensayos que cubran un rango importante de localidades, con un registro robusto de información climática y de fenología del cultivo. El estudio de estas cuestiones constituiría un aporte novedoso al conocimiento existente, con posibles implicancias para la toma de decisiones en investigación (por ejemplo, la evaluación de opciones para la mejora genética o el manejo agronómico del cultivo).

Los objetivos de este capítulo, para la característica de estabilidad oxidativa del aceite fueron:

1. Estudiar las contribuciones relativas de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción $G \times E$ sobre la característica citada.
2. Identificar la etapa fenológica de máxima respuesta de esta característica de calidad al efecto combinado de factores ambientales.
3. Estudiar la respuesta de esta característica de calidad a la variación combinada de factores ambientales, y establecer sus conexiones con el rendimiento y sus componentes, a fin de identificar combinaciones de factores ambientales y/o Ambientes y Genotipo que permitan obtener una combinación de características de calidad superior para un determinado uso.
4. Identificar las relaciones entre el nivel de insaturación del aceite y la concentración de tocoferoles y de fosfolípidos en el aceite con la estabilidad oxidativa del mismo.

B. Resultados y discusión

Los valores observados de estabilidad oxidativa del aceite se ajustaron a una curva de distribución bi normal, separando por un lado a las localidades del NEA, sin variabilidad entre localidades ni Genotipos, que alcanzaron el valor máximo de 22 hs (ver Capítulo 2, Materiales y Métodos), más un valor correspondiente a DK4000 en la localidad de Quemu Quemu (Figura 9.1).

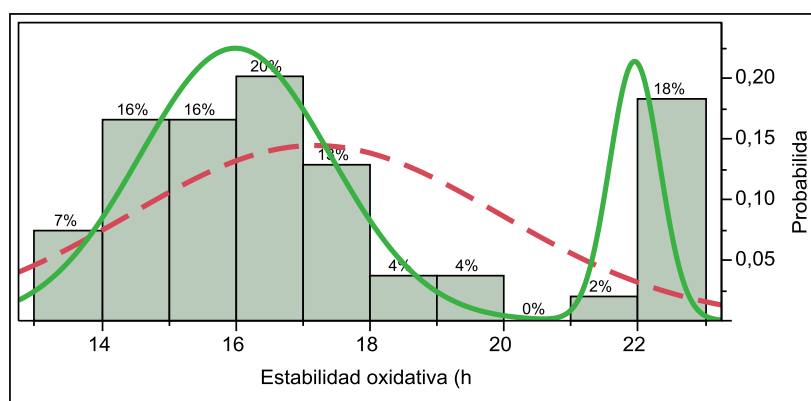


Figura 9.1: Análisis de distribución de los valores observados de estabilidad oxidativa del aceite. Las barras indican el porcentaje de datos en cada grupo horario. Curva roja discontinua= distribución normal teórica; curva verde continua = distribución bi normal, a la cual se ajustó la distribución de datos. Las dos curvas difieren en forma altamente significativa ($p < 0,0001$).

Al separar del conjunto de datos al NEA, la distribución se ajustó a la curva normal ($p=0,1036$), aún con la inclusión del valor correspondiente a DK4000 de Quemu Quemu, el cual aparece como valor fuera de tipo. En función de estos resultados, los datos de las zonas OESTE y SUR se analizarán en conjunto, separados de la zona NEA, la cual al no presentar variabilidad será utilizada como comparación o referencia en relación al resto del conjunto. Los valores medios, desvío estándar, mínimos y máximos

obtenidos en cada uno de los 2 grupos se presentan en la Tabla 9.1. Los valores correspondientes a las zonas OESTE y SUR fueron similares a los descriptos por Perez *et al.* (2004) para girasoles convencionales; se exploraron valores superiores a los reportados por Merrill *et al.* (2008), el cual reportó valores de 5,2 hs para girasoles convencionales y de 16,5 hs para cultivares alto oleico.

Tabla 9.1: Valores medios, desvío estándar, mediana, máximos y mínimos de estabilidad oxidativa del aceite agrupadas por zonas NEA y zonas OESTE Y SUR. n= número de observaciones en cada grupo de zonas. Valor de la estabilidad oxidativa expresado en horas (h)

Característica	Zonas	n	Media	Mediana	D.E.	Mín	Máx
Estabilidad oxidativa (h)	Oeste y Sur	45	16,11	16,04	1,71	13,07	21,46
	NEA	10	22	22	0	22	22

1. Contribución relativa de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E - Determinación de la fase ontogénica de máxima respuesta al efecto combinado de factores ambientales

En función del análisis de varianza efectuada la contribución del Genotipo a la variabilidad total, en las zonas SUR Y OESTE, fue del 13% (Tabla A9.1) y del 14% al efectuar un análisis de regresión multivariada que consideró al ciclo completo de cultivo. El período de mayor efecto del Genotipo sobre la variabilidad total fue el de R5+300°Cd (Tabla A9.2). En la zona NEA no se observó variabilidad, al haberse alcanzado en todas las muestras analizadas el máximo valor de 22 hs.

Los Genotipos evaluados presentaron diferencias significativas ($p=0,036$), pudiéndose diferenciar dos híbridos con valores extremos, DK4000 con el valor más alto de estabilidad oxidativa del aceite y DK3920 con el más bajo. En los valores intermedios se diferenciaron DK4200 con mayor estabilidad oxidativa del aceite que DK3820 (Tabla 9.2). Los cultivares que presentaron valores superiores de estabilidad oxidativa del aceite fueron los que poseen mayor concentración de ácido oleico y menores porcentajes de aceite en grano (comparar Tablas 32 y 37). En ninguno de los modelos analizados se observó efecto significativo de la interacción G×E (Tabla A9.1 y Tabla A9.2).

Tabla 9.2: Valores medios de estabilidad oxidativa (h) de los híbridos evaluados. Zonas agrupadas en función del análisis de distribución de datos en Oeste + Sur y NEA. Letras distintas dentro de cada grupo de zonas agroecológicas indican diferencias significativas ($p<0.05$).

Estabilidad oxidativa				
Genotipo	Sur y Oeste		NEA	
DK4000	17,31	A	22	A
DK4200	16,62	AB	22	A
DK3880	15,70	ABC	22	A
DK3820	15,22	BC	22	A
DK3920	14,13	C	22	A

No se pudo identificar un momento crítico para la determinación de la estabilidad oxidativa del aceite, al no observarse, en ninguno de los momentos ontogénicos estudiados, efectos del Ambiente superiores a los del período completo de cultivo (Tabla A9.2). Para el ciclo completo las características ambientales incluidas en

el modelo de regresión multivariada explicaron el 53,7% de la variabilidad total y el germoplasma el 14,2%. Dentro del ciclo completo de desarrollo, la etapa R5+250-450°Cd, fue identificada como la de mayor respuesta a las condiciones de Ambiente (Tabla A9.2).

Al considerar el conjunto completo de datos, incluyendo los observados en la zona NEA, se identificaron dos etapas de máxima respuesta, R1-R5 y R5+250-450°Cd, resultado semejante al obtenido para ácido oleico (Tabla A9.3)

2. Respuesta de la estabilidad oxidativa a la variación en el rendimiento en aceite, en el peso y número de granos y en los factores ambientales en forma combinada

a) Relación con el rendimiento en aceite, peso y número de granos.

La agrupación de Ambientes generada en función de los rendimientos medios no presentó diferencias significativas entre los grupos para la estabilidad oxidativa del aceite (Tabla A9.1). La alta correlación observada de la estabilidad oxidativa con el rendimiento en aceite ($R=-0,50$, $p=0,0011$, $n=40$) podría estar relacionada a cambios en la concentración de ácido oleico. Al correr un modelo multivariado para estudiar la variación de la estabilidad oxidativa del aceite en función del ácido oleico y del rendimiento en aceite, este último no fue significativo ($p=0,08$), los VIF no fueron importantes (<2). La inclusión de rendimiento en aceite en el análisis de sendero no mejoró al modelo obtenido.

La correlación entre estabilidad oxidativa del aceite con PG no fue significativa ($R=-0,18$, $p=0,267$, $n=40$). Su efecto se observó en forma indirecta a través de su relación con el porcentaje de ácido oleico, y con el peso de aceite por grano (Figura 9.2).

Estos resultados no permiten establecer una relación directa entre rendimiento, sus componentes y la estabilidad oxidativa del aceite, sugiriendo que las relaciones obtenidas reflejan el efecto del ácido oleico y de otras características del aceite sobre la estabilidad oxidativa.

b) Efecto de las condiciones ambientales sobre la estabilidad oxidativa del aceite en función de las zonas agroecológicas.

No se observaron diferencias significativas en la estabilidad oxidativa del aceite entre las zonas OESTE y SUR. La variabilidad total explicada por las localidades dentro de zona fue del 50%, sobre un total de 71,7% de la SC revelado por el modelo, indicando que ninguno de las variables utilizadas para hacer estas agrupaciones captó en forma eficiente la variabilidad, siendo otras características ambientales las que explicarían la misma.

Al comparar las características de los grupos formados por el NEA y por SUR y OESTE se observó que la zona NEA presentó, con respecto a las otras dos zonas, menor rendimiento tanto en aceite como en aquenios, menor número de granos y el mayor peso de los mismos. Dentro del conjunto de características ambientales se diferenció por presentar los mayores valores de temperatura y los menores del CQ durante el período

de cultivo (Tabla A3.2). Además, en la zona NEA se observó mayor concentración de ácido oleico, sin diferencias entre oeste y sur (Tabla A8.7).

c) Efecto del contenido de nitrógeno inicial sobre la estabilidad oxidativa del aceite.

No se observaron diferencias significativas en la estabilidad oxidativa del aceite entre los grupos formados en función del nitrógeno disponible. La variabilidad total explicada por las localidades dentro de zona fue del 47%, sobre un total de 71,7% de la SC explicado por el modelo, indicando que el nitrógeno no fue un indicador eficiente para agrupar Ambientes en función de la estabilidad oxidativa del aceite. El análisis de correlación no presentó una asociación significativa entre la estabilidad oxidativa y el contenido de nitrógeno inicial ($R=0,08$, $p=0,629$, $n=40$).

d) Efecto de los factores ambientales y de características del aceite sobre la estabilidad oxidativa del aceite de girasol.

No se observaron efectos directos significativos de los factores ambientales sobre la estabilidad oxidativa del aceite; estos factores actuaron principalmente sobre la concentración de ácido oleico y sobre la concentración de tocoferoles en aceite (Figura 9.2).

Al no observarse un efecto directo de las características climáticas sobre la estabilidad oxidativa del aceite, su variabilidad sería dependiente de componentes/características de la misma. Estas características son producto de una conjunción de factores, que como se vio en los capítulos anteriores, presentan interacciones en sus respuestas al Ambiente, como por ejemplo la temperatura que generó un efecto inverso sobre la concentración de tocoferoles en aceite y directo con el ácido oleico.

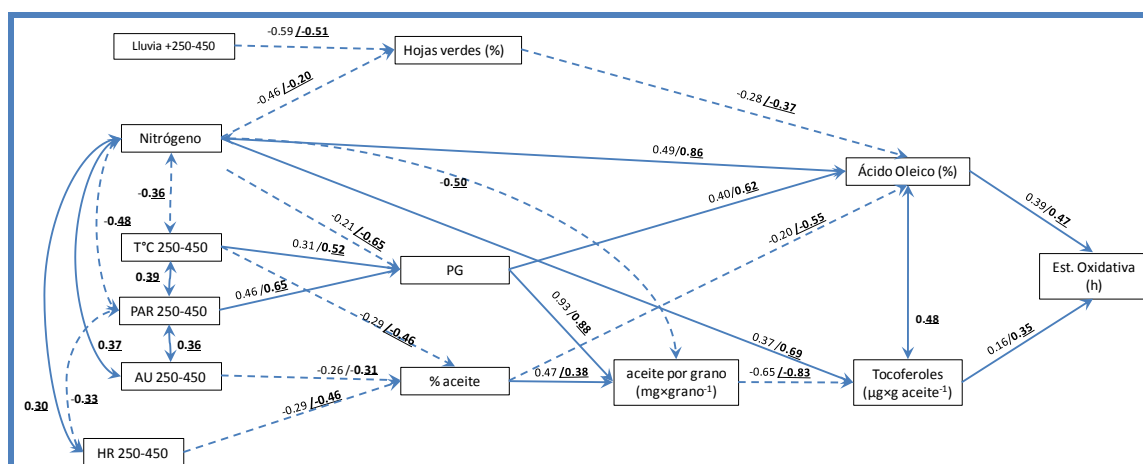


Figura 9.2: Representación esquemática de las relaciones causa/efecto para la estabilidad oxidativa del aceite, para la etapa fenológica R5+250-450°Cd, de características fenotípicas y factores ambientales, determinadas por el análisis de correlaciones simples y parciales. Términos de coeficientes de correlación parcial (efectos directos) son representados por vectores unidireccionales y por valores sin subrayar. Coeficientes de correlación de Pearson son representados por arcos bi-direccionales y/o por valores subrayados. Las líneas continuas representan relaciones directas, las líneas punteadas relaciones inversas. La relación de estabilidad oxidativa con ácido oleico y tocoferoles con no incluyó a las localidades del NEA. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta figura.

La concentración de ácido oleico en aceite fue la característica con mayor efecto sobre la variabilidad de la estabilidad oxidativa del aceite. En el análisis de partición recurrente capturó el 80% de la variabilidad total como primer factor, separando las localidades de la zona NEA y Quemu Quemu del resto (Figura 9.3). En una siguiente partición Quemu Quemu fue separado del NEA en función de la temperatura.

Si en lugar de seleccionar ácido oleico como primer factor de partición se hubiera seleccionado temperatura mínima, la captura de variabilidad, los grupos formados y los componentes del segundo grupos no hubieran variado (datos no mostrados), corroborando la alta relación entre oleico y temperatura, así como que el factor que influyó en la estabilidad fue el ácido oleico. Las localidades del NEA, tal lo observado en el análisis de la varianza (Tabla A9.1), presentaron el máximo valor de estabilidad, sin posibilidades de subdivisión, al no haber variabilidad.

La concentración de aceite en el grano fue el siguiente factor de separación, aportando al modelo casi un 8% de la variabilidad total, de los Ambientes con menores concentraciones de ácido oleico. En el grupo con menor contenido de materia grasa se agrupó a las localidades de Camet 2 y Cnel. Suarez y a los materiales con menor concentración de aceite (Figura 9.3).

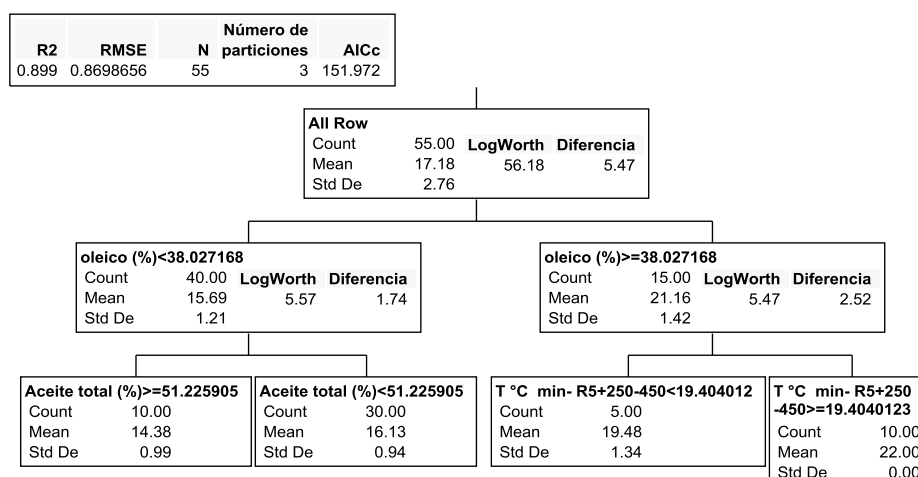


Figura 9.3: Partición dicotómica de los valores observados de concentración de la estabilidad oxidativa del aceite en función de Genotipos y datos observados de características fenotípicas y factores ambientales por el método de partición recurrente. Cada rectángulo indica el nombre de la característica y valor de la misma en función de la cual se generó la partición, el número total de observaciones involucradas en cada grupo (count), el valor medio del grupo (mean) y su desvío estándar (Std Dev), así como la amplitud de los valores observados dentro de cada grupo (diferencia) cuando este fue vuelto a subdividir. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta figura.

Al correr el análisis de partición recurrente forzando la entrada de los tocoferoles en aceite, en lugar del % de aceite del grano, se observó que se capturaba de esta manera el 8,8% de la variabilidad total, dos puntos menos que con la inclusión natural del % de aceite del grano; la agrupación de casos fue semejante en una alta proporción, los grupos formados por ambos análisis difieren en 3 casos de un total de 30, captándose el 88,4% de la variabilidad total en 2 particiones. En el Anexo I, Figura A9.2 se incluyó la figura de análisis correspondiente.

En adición a lo anterior, el análisis de regresión, sin los datos correspondientes al grupo con concentración de ácido oleico superior a 38%, demostró una relación

directa entre estabilidad oxidativa y tocoferoles en aceite ($R=0,348$, $p=0,0276$, $n=45$, $a=11,90$, $b=0,00527$).

El análisis de regresión multivariada, realizado para poder comprender la relación del % de aceite del grano, tocoferoles y nivel de insaturación del aceite, considerando las zonas CENTRO y SUR, presentó resultados semejantes a lo observado en el análisis de partición recurrente. El % de aceite del grano explicó el 34% de la variabilidad total, observándose que a mayor % de aceite del grano menor fue la estabilidad oxidativa del aceite (Tabla 9.3). El nivel de insaturación del aceite fue el siguiente factor en ingresar al modelo, pudiendo ser representado tanto por la concentración de ácido oleico (+14% de la SC) o por el índice de yodo (-19% de la SC), siendo este último valor el que se incluyó en el modelo sin NEA (a) (Tabla 9.3).

Al sustituir el % de aceite del grano por la concentración de tocoferoles en aceite, se obtuvo una relación directa con la estabilidad oxidativa del aceite, explicando, dentro del modelo, el 13% de la suma de cuadrados (Sin NEA, Tabla 9.3 (b)).

El análisis del conjunto completo de datos mostró un efecto negativo del contenido de tocoferoles en aceite (Tabla 9.3 completa), lo cual es explicado en base al efecto de la temperatura sobre el ácido oleico, positivo, y sobre la concentración de tocoferoles, negativo, tal como fue discutido en el capítulo sobre composición ácida, llevando la concentración de tocoferoles en aceite en los Ambientes del NEA a valores bajos, dentro de los observados (Figura 8.6).

Al realizar un análisis de regresión multivariada, se observó que el Genotipo no presentó efecto significativo sobre la variabilidad total ($p>0,34$), tanto para las zonas OESTE y SUR, como para el conjunto completo de datos, por lo cual no fue incluido en los modelos.

Tabla 9.3: Contribución relativa a la variabilidad total de la estabilidad oxidativa del aceite, del ácido oleico (%), de la concentración de aceite en el grano (aceite total (%)), de la concentración de tocoferoles en aceite y del índice de yodo, para las zonas agroecológicas Oeste y Sur (sin NEA) y todas las zonas en conjunto (completa), determinada por el método de análisis de regresión multivariada. GL: expresa los grados de libertad del modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación directa (+) o inversa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Consultar índice de abreviaturas en la página xviii para el significado de las otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Modelo	Estabilidad oxidativa (h)											
	Sin zona NEA (a)				Sin zona NEA (b)				Completa			
	GL	Efecto	% SC	prob F>	GL	Efecto	% SC	prob F>	GL	Efecto	% SC	prob F>
R²	40		54%	<.0001	40		43%	<.0001	50		85%	<.0001
oleico (%)										+	51%	<.0001
Aceite total (%)		-	34%	0,0001						-	18%	0,0002
tocopheroles (mg.kg aceite ⁻¹)						+	13%	0,0287		-	16%	0,0005
Índice de yodo		-	19%	0,0066		-	29%	0,0018				

A pesar que se ha vinculado a los fosfolípidos con la estabilidad oxidativa del aceite (Carelli *et al.*, 1997; Carelli *et al.*, 2005; Choe y Min, 2006; Hamama y Bhardwaj, 2004; Judde *et al.*, 2003), en ninguno de los análisis realizados se pudo identificar efecto de los fosfolípidos totales en aceite o de algunos de los diferentes compuestos fosfolípidos evaluados sobre la estabilidad oxidativa del aceite. Al ser incluidos en los modelos no presentaron efectos significativos y si se incluían en conjunto con tocoferoles en aceite anulaban el efecto de estos.

Ambientes con altas temperaturas mínimas, superiores a 19,5°C, en la etapa fenológica R5+250-450°Cd, generaron altas concentraciones de ácido oleico en aceite, superiores a 38%; afectando por otro lado la concentración de tocoferoles en aceite, lo cual se tradujo en que en estos Ambientes, zona NEA, el principal factor que actuó sobre la estabilidad oxidativa del aceite fue la concentración de ácido oleico en la misma.

En los Ambientes con temperaturas mínimas inferiores a los 19,5°C, el efecto de la concentración de ácido oleico sobre la estabilidad oxidativa del aceite fue menor, explicando el 14% de la variabilidad total, cobrando importancia otras características del aceite. Así se evidenció el mayor efecto que presentó la concentración de aceite (-34% de la SC), con una relación negativa sobre la variabilidad de la estabilidad oxidativa del aceite, de manera diferente a la zona NEA donde su aporte no fue significativo (Tabla 9.3).

Otro de los factores que actuaron sobre la estabilidad oxidativa del aceite fueron los tocoferoles en aceite, sin diferencias en los resultados al considerar tocoferoles totales o α -tocoferol, los cuales aumentarían su concentración al disminuir el % de aceite por grano (Figura 7.4) tal lo observado en el Capítulo correspondiente.

Por lo anterior, en las zonas OESTE y SUR la estabilidad oxidativa del aceite dependería del nivel de insaturación del aceite, reflejado por la concentración de ácido oleico o el índice de yodo, y por la concentración de tocoferoles en aceite, relacionado al peso de aceite por grano. En estas dos zonas, la variabilidad de los datos obtenidos indicarían que utilizando prácticas agronómicas que generen bajo peso de aceite por aquenio, tales como la selección de Ambientes restrictivos o altas densidades, etc., se podrían lograr variaciones en la estabilidad oxidativa del aceite de hasta 3 horas, por incremento en la concentración de tocoferoles en aceite.

C. Conclusiones

La contribución relativa del Ambiente a la variabilidad total de la estabilidad oxidativa del aceite fue superior a la del Genotipo. El efecto del Genotipo no fue significativo cuando se utilizaron modelos que incluyeron características del aceite que actúan sobre la estabilidad oxidativa del aceite (Objetivo 1 este Capítulo).

La contribución del Ambiente estuvo relacionada de manera directa a su efecto sobre el grado de insaturación del aceite y sobre la concentración de tocoferoles en aceite. Las interacciones Genotipo por Ambiente no fueron significativas en ninguno de los modelos evaluados (Objetivo 1 este Capítulo).

No se pudo identificar un momento crítico para la determinación de la estabilidad oxidativa del aceite, al no observarse, en ninguno de los momentos ontogénicos estudiados, efectos del Ambiente superiores a los del período completo de cultivo. La etapa R5+250-450°Cd, fue identificada como la de mayor respuesta a las condiciones de Ambiente (Objetivo 2 este Capítulo)

No se identificaron efectos directos de los factores ambientales sobre la estabilidad oxidativa del aceite. Las características ambientales influyeron sobre la concentración de aceite del grano y sobre factores que determinan su calidad como ser la composición ácida y la concentración de tocoferoles en aceite (Objetivo 3 este Capítulo).

Las características del aceite de cultivares tradicionales de girasol, sin selección dirigida sobre características especiales tales como alto contenido de ácido oleico, que influyen sobre la estabilidad oxidativa del aceite dependen del Ambiente donde el cultivo se desarrollo:

1. Ambientes con altas temperaturas mínimas, superiores a 19,5°C, el principal factor para determinar la estabilidad oxidativa del aceite sería la concentración de ácido oleico
2. En Ambientes con temperaturas mínimas inferiores a 19,5°C, la estabilidad oxidativa del aceite dependerá del nivel de insaturación, representado por el índice de yodo y por la concentración de tocoferoles en aceite (Objetivo 4 este capítulo)

En el capítulo 10 se realiza la discusión general de los resultados obtenidos, relacionándolos con los objetivos e hipótesis presentados en el capítulo 1 y reconstruyendo el modelo conceptual inicialmente propuesto en base a los mismos.

Capítulo 10

ANÁLISIS CONJUNTO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES

Análisis conjunto de las características de calidad, discusión y conclusiones generales

A. Síntesis y visión global de la investigación

1. Delimitación de zonas o identificación de Ambientes.

La demanda de industriales y consumidores por obtener granos y aceites de girasol con calidades adaptadas / diferenciadas para usos específicos, con fuerte incidencia en el valor final de los productos y en su aceptación, ha crecido en los últimos años generándose, a la par, un avance importante en el conocimiento de los factores que determinan las variables vinculadas a la calidad de granos y aceites de girasol (Aguirrezábal y Pereyra, 1998 Aguirrezábal et al., 2002).

La delimitación de áreas homogéneas de producción es una necesidad en el planteo de actividades para determinar características específicas de calidad que, en general, fue asociada a zonas delimitadas geográficamente. En la República Argentina la zonificación de las regiones agrícolas se ha definido sobre la base de la integración de variables climáticas, topográficas, edáficas, fisiográficas y antrópicas, integrando zonas suficientemente uniformes como para asegurar un cultivo exitoso (Entralgas *et al.*, 1995; González González, 1995) como la utilizada en este trabajo, generada por ASAGIR (2004).

Se observó que esta delimitación geográfica de áreas, cuando se refiere a parámetros de calidad, tales como peso de la cáscara y la aptitud al descascarado, la concentración de ceras, fosfolípidos y tocoferoles en aceite, el porcentaje de ácidos grasos saturados y la estabilidad oxidativa del aceite, no fue un buen estimador de estas características; la variabilidad dentro de cada zona fue superior a la encontrada entre diferentes zonas. Lo anterior fue corroborado al observarse que localidades relativamente cercanas geográficamente, tales como Camet y Miramar o Quemu Quemú con Gral. Riglos o Gral. Pico presentaron características de calidad diferentes (Tabla 10.1).

Las fuentes de información y los conocimientos disponibles permiten la integración activa de datos e información, a efectos de aumentar la eficiencia en la identificación de calidades específicas, utilizando datos de suelo y de evolución de parámetros climáticos integrados con el conocimiento fenológico del cultivo y de las respuestas de las características de calidad a esos factores. Para realizar esta tarea hace falta identificar estimadores estratégicos, los criterios y los umbrales, que permitan incrementar la eficiencia en la identificación de características específicas (Dumanski *et al.*, 1998).

Como un primer paso para el desarrollo de una agrupación de localidades en función de la información detallada se generaron grupos, por medio de los análisis de componentes principales y de clasificación; realizados en función de las características ambientales de cada etapa fenológica identificada como crítica y de los valores observados de las características de calidad estudiadas.

Para el análisis del efecto de factores ambientales sobre las características de calidad se trabajó con un total de 143 variables ambientales que surgieron de la combinación de las características de clima evaluadas por cada etapa fenológica más las características de suelo, asignadas a cada Ambiente y 12 variables fenotípicas indirectas o biológicas.

Los diversos análisis realizados, en los Capítulos correspondientes a cada una de las características de calidad de granos y aceite de girasol estudiadas, permitieron identificar a las etapas fenológicas R1-R5, R5+100-300°Cd, R5+250-450°Cd y R5+300°Cd, como las de mayor efecto sobre las características de calidad de frutos y aceite del girasol evaluadas. Dentro de cada etapa los valores medios de temperatura mínima, PAR incidente, HR y agua útil disponible, así como el valor acumulado de las precipitaciones surgieron como los factores climáticos que explicaron en mayor porcentaje la variabilidad (Tablas 3.3, A3.8, A3.9, A4.2, A4.3, A4.5, A5.2, A5.3, A6.2, A6.4, A6.5, A6.6, A6.7, A7.2, A7.3, A7.4, A8.2, A8.3, A8.4, A8.5, A8.6, A8.8, A8.9, A8.10 y A9.2). El nitrógeno fue, dentro de las características de suelo, el factor más importante (Capítulo 3, apartado B, Figuras 4.1, 4.2, 5.1, 6.4, 6.5, 7.1, 7.3, 8.2 y 8.8. Este trabajo de selección permitió reducir el número de variables ambientales a 21 y el de variables fenotípicas indirectas o biológicas a 6 (Capítulos 3 y 8).

Con el conjunto de variables seleccionadas se realizó un primer análisis de componentes principales. Los resultados de este análisis sumado a la alta correlación entre las variables de clima correspondientes a las etapas R5+100-300°Cd, R5+250-450°Cd y R5+300°Cd encontradas (Tabla A3.11) indicó la conveniencia de mantener en el modelo a las etapas R1-R5 y R5+300°Cd, las cuales están comprendidas dentro del concepto de período crítico para el número de granos por capítulo, definido por la ventana temporal de menos 15 a más 20 días desde floración (R5-15+20 días) (Cantagallo *et al.*, 1997; Cantagallo y Hall, 2002; Cantagallo *et al.*, 2004). Mantenerlas por separado permitió entender las relaciones entre las variables de Ambiente y las características de calidad en cada una de las etapas. Quedaron finalmente seleccionadas un total de 11 variables ambientales (T°C min, PAR, precipitaciones, HR y AU en las etapas fenológicas R1-R5 y R5+300°Cd y el contenido de nitrógeno inicial en el suelo (N kg-ha⁻¹)) y 6 características fenotípicas (rendimiento aceite (kg-ha⁻¹), PG, Aceite (%), Proteínas (%)/Aceite(%), Aceite(%)/granos(mg.grano⁻¹) y %hojas verdes en R7).

El siguiente paso fue realizar la clasificación de localidades aplicando un análisis de clasificación, utilizando las características fenotípicas (Figura A10.3) y factores ambientales (Figura A10.4) por separado. Los patrones de clasificación de localidades obtenidos por ambos métodos fueron similares, lo cual fue comprobado estadísticamente mediante un test de comparación de matrices, utilizando el coeficiente de correlación de Pearson y el test de Mantel normalizado, ($r=0,598$, Mantel t-test=10,712, $p=1$). Esto implica que el efecto ambiental condicionó las variables biológicas; confirmando que los factores ambientales actuaron en las etapas fenológicas seleccionadas modificando las características determinantes de la calidad en el aceite de girasol.

Las relaciones entre factores ambientales, características fenotípicas y las características de calidad estudiadas son proyectadas en el biplot obtenido mediante el análisis de componentes principales (Figura A10.5), corroborando lo observado en las discusiones realizadas en los capítulos correspondientes a cada característica de calidad estudiada. Su análisis se realiza en el apartado D, punto 3 de este capítulo.

Las localidades también fueron agrupadas mediante un análisis de clasificación. Se distinguieron 5 grupos, NEA (Charata y Reconquista), Quemu Quemú, Huinca Renancó, Camet (Camet 1 y 2) y Centro (Miramar, Cascallares, Cnel. Suarez, Riglos y Gral. Pico) (Figura A10.1). En la Tabla 10.1 se presenta el análisis de diferencias de medias, para las características fenotípicas y ambientales.

La interacción G×E, no fue significativa para ninguna de las variables incluidas en este análisis ($p>0,10$), excepto para el caso de ácido oleico, donde la interacción explicó el 2,5% de la variabilidad total, porcentaje menor al capturado por el Genotipo (4,7%), por lo cual su magnitud fue considerada insignificante.

Las variables fenotípicas presentaron, en todos los casos, menor variabilidad en las localidades anidadas dentro de los grupos, que la variabilidad capturada por cada grupo (datos no mostrados), indicando que esta agrupación de localidades fue más eficiente que la realizada considerando la agrupación por zonas agroecológicas o los otros métodos analizados anteriormente en función de los resultados iniciales presentados en el capítulo 3; lo cual fue corroborado al encontrarse diferencias significativas entre grupos en características que no la habían exhibido por los otros métodos de agrupación.

Tabla 10.1: Valores medios del % de la varianza total explicados por Ambiente y por Genotipo para el conjunto de datos y valores absolutos observados para los grupos formados en función de las características fenotípicas y ambientales seleccionadas en este trabajo, por el método de análisis de componentes principales. Letras diferentes dentro de cada fila indican diferencias significativas ($p<0,05$) entre los grupos.

Variables		R2	Ambiente	genotipo	Agrupación ambientes				
					CAMET Media est.	CENTRO Media est.	H RENANCO Media est.	QUEMU QUEMU Media est.	NEA Media est.
Rendimiento	hojas verdes R7 (%)	0,970	48%	2%	22% D	57% A	47% B	48% B	38% C
	rendimiento aceite (kg.ha ⁻¹)	0,954	58%	14%	1398 B	1563 A	1037 C	1539 A	926 C
	peso de mil granos (gr)	0,945	63%	12%	44,32 C	50,30 B	50,86 B	61,89 A	63,17 A
	número de granos por m2	0,973	80%	5%	6717 A	6253 B	3959 D	5154 C	3282 E
	número de granos por planta	0,873	29%	7%	1501 A	1234 B	1116 BC	1318 B	991 C
Cáscara	Cáscara (g)	0,960	57%	24%	11,61 D	13,93 C	12,32 D	18,40 A	16,67 B
	Cáscara (%)	0,964	24%	44%	35,59 C	38,85 B	32,38 D	42,69 A	35,76 C
	aptitud al descascarado (%)	0,860	36%	25%	30,36 B	31,54 B	27,97 B	42,54 A	47,95 A
Composición centesimal	aceite por grano (mg.grano ⁻¹)	0,947	44%	24%	20,89 D	24,94 C	26,45 B	29,83 A	28,26 A
	Aceite (%)	0,940	40%	41%	47,17 C	49,40 B	51,86 A	48,21 BC	44,79 D
	proteínas (%)	0,932	57%	15%	17,02 B	14,63 C	17,25 B	17,90 B	19,58 A
	carbohidratos (%)	0,947	20%	54%	32,95 AB	33,02 A	27,52 D	31,298 C	31,90 BC
	cenizas (%)	0,947	68%	19%	2,854 C	2,95 C	3,37 B	2,596 D	3,74 A
Componente menores del aceite	ceras en aceite (mg.kg aceite ⁻¹)	0,796	39%	19%	1137 A	923 B	924 B	1056 A	916 B
	ceras/grano (mg.grano ⁻¹)	0,862	28%	34%	0,023 BC	0,023 C	0,024 BC	0,030 A	0,025 B
	tocoferoles en granos (mg.grano ⁻¹)	0,680	10%	9%	16,86 B	16,89 B	18,79 A	16,91 AB	16,38 B
	tocoferoles (mg.kg aceite ⁻¹)	0,833	48%	17%	810 A	686 B	724 B	570 C	583 C
	b-tocoferol (mg.kg aceite ⁻¹)	0,842	48%	10%	9,79 A	5,52 B	5,52 BC	2,69 CD	2,26 D
	fosfolípidos (mg.kg aceite ⁻¹)	0,795	26%	10%	0,407 C	1,392 B	0,765 BC	0,931 BC	1,966 A
	L-α-fosfatidiletanolanina (mg.kg aceite ⁻¹)	0,772	36%	4%	0,105 C	0,364 B	0,178 BC	0,219 BC	0,584 A
	L-α-fosfatidato sódico (mg.kg aceite ⁻¹)	0,801	16%	13%	0,207 B	0,656 A	0,431 AB	0,488 AB	0,811 A
	L-α-fosfatidilinsitol (mg.kg aceite ⁻¹)	0,735	25%	4%	0,027 C	0,131 B	0,075 BC	0,058 BC	0,245 A
	L-α-fosfatidilcolina (mg.kg aceite ⁻¹)	0,745	24%	11%	0,067 B	0,241 A	0,082 B	0,166 AB	0,326 A
Composición ácida Estabilidad oxidativa	estabilidad oxidativa (h)	0,770	58%	1%	16,66 B	15,26 B	15,02 B	20,76 A	22,00 A
	estearico (%)	0,744	30%	8%	3,63 C	4,32 A	3,98 ABC	4,04 ABC	4,00 B
	palmitico (%)	0,909	63%	7%	5,70 C	6,74 A	6,35 B	5,96 C	5,84 C
	mirístico (%)	0,909	59%	6%	0,081 B	0,098 A	0,084 B	0,084 B	0,072 C
	oleico (%)	0,986	83%	4%	30,13 C	23,88 D	30,59 C	43,70 B	48,60 A
	linoleico (%)	0,987	83%	5%	60,37 B	64,86 A	58,94 B	46,16 C	41,46 D
	linolenico (%)	0,950	55%	4%	0,086 B	0,096 A	0,050 C	0,062 C	0,028 D
	ácidos saturados (%)	0,899	61%	7%	9,41 D	11,16 A	10,41 B	10,09 BC	9,91 C
	mono insaturados/poliinsaturados	0,972	75%	4%	0,505 C	0,371 D	0,520 C	0,976 B	1,235 A
	poli insaturados (%)	0,987	83%	5%	60,46 B	64,96 A	58,99 B	46,22 C	41,49 D
Características del ambiente	proteínas (%) /aceite (%)	0,922	64%	13%	0,362 BC	0,298 D	0,332 C	0,374 B	0,438 A
	T °C min R1-R5	0,990	42%	0%	13,11 E	14,42 D	15,88 B	14,65 C	19,05 A
	PAR R1-R5	0,990	44%	0%	11,6 C	11,38 D	9,79 E	11,91 B	16,03 A
	HR R1-R5	0,990	76%	0%	78,64 A	69,43 B	67,96 C	62,06 E	67,3 D
	Agua Útil Disponible (mm) R1-R5	0,990	32%	0%	151,43 A	115,86 C	125,93 B	113,79 D	68,59 E
	Lluvia (mm) R1-R5	0,990	74%	0%	32,14 E	174,79 B	326,02 A	49,45 D	157,17 C
	T °C min R5+300	0,993	85%	0%	15,19 C	11,77 E	18,55 B	12,73 D	22,35 A
	PAR R5+300	0,995	56%	0%	9,611 E	12,20 B	10,43 D	10,97 C	17,91 A
	HR R5+300	0,989	84%	0%	87,09 A	59,79 E	69,07 C	62,11 D	71,81 B
	Agua Útil Disponible (mm) R5+300	0,996	59%	0%	81,97 B	44,20 D	95,37 A	28,90 E	62,55 C
	Lluvia (mm) SUM R5+300	0,850	69%	0%	107,64 A	28,24 C	73,00 B	33,00 C	77,03 B
	N (k.ha ⁻¹)	1	82%	0%	81,40 B	42,82 C	88,30 A	25,30 D	16,70 E

Estos resultados refuerzan el concepto que para obtener calidades diferenciales, en forma consistente, tanto para procesos industriales - aptitud al descascarado y concentración de ceras en aceite, como para satisfacer demandas del mercado - composición ácida, estabilidad oxidativa y/o concentración de tocoferoles en aceite, es necesario integrar los conocimientos de evolución de las características de clima con conocimientos de la fenología del cultivo y de la respuesta de cada característica de calidad a estos factores.

2. Contribución relativa de los efectos del Genotipo, del Ambiente y de la interacción G×E a la variabilidad en las características estudiadas.

El conocimiento de las contribuciones relativas del Genotipo, del Ambiente y de su interacción sobre la variabilidad de las características de calidad de frutos y aceite de girasol es necesario a efectos de lograr producciones con calidades consistentes, factor decisivo al momento de realizar la promoción y comercialización de los productos, así como al momento de tomar decisiones sobre proyectos de investigación y desarrollo.

Dentro del conjunto de características estudiadas en este trabajo, el porcentaje de cáscara y la cantidad de ceras en granos (Tabla 10.1), fueron los únicos factores en los cuales el Genotipo explicó una proporción superior de la variabilidad total respecto al Ambiente. Al trabajar con un conjunto de Ambientes que presenten menor variabilidad en las características ambientales que el conjunto completo de Ambientes, como por ejemplo el grupo denominado “centro”, se observó que esta conclusión puede cambiar, como fue presentado en el Capítulo 8 referente a tocoferoles. La dependencia de las conclusiones obtenidas a la variabilidad de los factores ambientales durante el período crítico para la determinación de la característica en estudio puede explicar parte de la controversia que se observa en el tema del peso relativo del Genotipo respecto al Ambiente sobre la variabilidad total entre diferentes autores. Estos resultados indican además, que para una correcta caracterización de la variabilidad atribuible al Genotipo respecto al Ambiente es necesario contar con una amplia variación de los factores ambientales que actúan sobre la característica en estudio durante el período crítico para la misma

Para la aptitud al descascarado el factor Ambiental explicó una proporción significativamente superior de la variabilidad total respecto a la explicada por el Genotipo. Estos resultados no coinciden con la bibliografía consultada (Dedio, 1982; Di Leo *et al.*, 2004; García Ruiz, 1994; Merrien *et al.*, 1992). Algunos de los factores que determinan la aptitud al descascarado, tales como características anatómicas del fruto (Beauguillaume y Cadeac, 1992; Denis y Vear, 1996; García Ruiz, 1994; Merrien *et al.*, 1992; Nel, 2001), su contenido de aceite y el tamaño del mismo (Das y Gupta, 2005; de Figueiredo *et al.*, 2011; Roath *et al.*, 1985) dependen del Ambiente. En el presente trabajo, se observó que estas características fenotípicas fueron afectadas en forma directa por los factores ambientales (Figura 5.1), aspecto que explicaría los resultados hallados del alto efecto ambiental sobre la aptitud al descascarado.

El contenido de tocoferoles, tanto en granos como en aceite, dependió en mayor medida de las características del Ambiente que del Genotipo. No se observó un efecto directo de las características ambientales sobre la concentración de tocoferoles en aceite, sino que estas incidieron sobre la cantidad de aceite por grano. Estos resultados coinciden con lo observado para otros cultivos, tales como canola (Marwede *et al.*,

2004) y algodón (Smith y Creelman, 2001), para los cuales se reportaron mayor efecto del Ambiente respecto al Genotipo. Sin embargo, para girasol, difieren de otros estudios en los cuales se atribuyó principalmente al efecto del Genotipo la variabilidad en la concentración de tocoferoles en aceite del girasol (Alpaslan y Gündüz, 2000; Ayerdi Gotor *et al.*, 2006; Del Moral *et al.*, 2011; Dolde *et al.*, 1999; Nolasco *et al.*, 2004; Velasco y Fernández-Martínez, 2012). El haber encontrado que la concentración de tocoferoles en aceite esta altamente relacionada a la cantidad de aceite en el grano (Figura 7.2, Tabla 7.1) y que la contribución del Ambiente a la variabilidad total del contenido de aceite por grano (Tabla 10.1) es superior a la del Genotipo explicaría la diferencia de este trabajo con los resultados previamente reportados por la bibliografía.

No se han detectado trabajos previos sobre el efecto del Genotipo, del Ambiente y de su interacción sobre el contenido de fosfolípidos en aceite, tanto en granos como en aceite, ni sobre la estabilidad oxidativa del aceite. Los resultados obtenidos en el presente estudio indicaron que el Ambiente explicó, para ambas características, una proporción relativamente superior al Genotipo de la variabilidad total.

La contribución relativa del Genotipo a la variabilidad total de la composición ácida fue menor al del Ambiente. El ácido esteárico fue el que presentó mayor dependencia, en su variabilidad, del Genotipo (17% de la SC), no obstante la contribución relativa del Ambiente fue superior. Si bien estos resultados son acorde a lo observado previamente por otros autores. (Izquierdo *et al.*, 2006), la metodología experimental y de análisis es novedosa, no fue previamente reportada, permitiendo fortalecer las conclusiones previamente presentadas.

El mayor efecto relativo atribuido al Ambiente sobre la variabilidad total del peso de la cáscara, de la aptitud al descascarado y de la concentración en aceite de ceras, y tocoferoles, respecto a lo citado en la literatura podría estar relacionado a la amplitud y combinación de características climáticas obtenidas en este trabajo, proveniente de una red de ensayos que cubrieron un rango importante de localidades, con un registro robusto de información climática y de fenología del cultivo. Es de destacar que para las diferentes características de calidad, las diferencias logradas entre Ambientes fueron superiores a la observada entre Genotipos. Por otro lado se debe considerar que mucha de la información citada por la literatura fue realizada para evaluar el efecto de G, E y GxE sobre las características de calidad, pero poca para entender la importancia relativa de cada factor. Estos resultados remarcaron el mayor efecto del Ambiente en la expresión de las características de calidad evaluadas con respecto al Genotipo, sin considerar en esta conclusión la inclusión de material especialmente seleccionado para determinada característica, como por ejemplo alto contenido de ácido oleico o esteárico.

Se observó variabilidad genética para todas las características analizadas entre los diferentes cultivares evaluados, al haberse encontrado diferencias significativas entre ellos. Los cinco cultivares involucrados no pudieron ser agrupados considerando las características de calidad en conjunto, indicando que cada uno de ellos presentó una combinación única (Figura A10.2).

Si bien se observaron casos en los cuales la interacción Genotipo por Ambiente fue estadísticamente significativa, la magnitud de la variabilidad total explicada por la interacción fue inferior a la manifestada por el Genotipo, por lo cual no fue considerada importante (Crossa, 1990), con la excepción del componente PI de fosfolípidos. Esta interacción fue causada por la respuesta diferencial de dos híbridos en la zona NEA (Figura 6.3).

3. Determinación del momento de mayor impacto de las características ambientales.

Se definió al período crítico como la etapa fenológica en la cual los factores del Ambiente actúan sobre las características de calidad en una magnitud superior a la observada considerando su efecto en el período completo de cultivo (EME-R9).

Este período puede ser determinado en función del efecto conjunto de las características ambientales o por el efecto individual de cada factor, por ejemplo para la proporción del ácido oleico en aceite se determinó un período crítico para el efecto de la temperatura (Aguirrezábal *et al.*, 2003; Izquierdo *et al.*, 2006) y otro para el efecto del PAR interceptado (Echarte *et al.*, 2013).

Los factores ambientales pueden actuar sobre las características de calidad directamente o influyendo en forma indirecta a través de su efecto sobre otras características fenotípicas, dentro de las cuales el porcentaje de materia grasa y el peso de los granos surgieron como las características más relacionadas a estos procesos.

Dentro del conjunto de características de calidad que no demostraron un efecto directo de los factores ambientales se encuentran el peso de la cáscara (Figura 4.1) y la concentración de tocoferoles en aceite, con la salvedad del efecto del N (Figura 7.1), relacionados directamente al peso de granos y al porcentaje de aceite; y la estabilidad oxidativa del aceite, relacionada al nivel de insaturación del aceite, principalmente ácido oleico, y a la concentración de tocoferoles en ella (Figura 9.2). Los períodos críticos fueron R1-R5 y R5+250-450°Cd, etapas coincidentes con las observadas para peso de granos y porcentaje de aceite en granos (Aguirrezábal *et al.*, 2003; Connor y Hall, 1997).

Respecto a la aptitud al descascarado, el efecto de los factores ambientales se manifestó tanto en forma indirecta, a través de su acción sobre el peso de la cáscara y la concentración de aceite del grano, como directa (Figura 4.2); surgiendo como significativos el efecto del PAR incidente- con un período crítico en R1-R5-, la temperatura -con un período crítico observado en R5+250-450°Cd- y el agua útil disponible- con un período crítico observado en R5+300°Cd-. La influencia de los efectos directos e indirectos se tradujo en un período crítico general que abarco la etapa R5+300°Cd (Tabla A4.5).

Los fosfolípidos en aceite - período crítico R5+100°Cd- y los ácidos grasos saturados - período crítico R5+100-300°Cd -, presentaron mayor respuesta a los factores ambientales en las etapas tempranas de llenado de grano, con una mayor incidencia relativa de los factores ambientales que de las características fenotípicas (Tabla A6.2).

Cabe destacar que estos son los primeros estudios realizados en girasol dirigidos a determinar el período crítico de la aptitud al descascarado, de la concentración de fosfolípidos y de la estabilidad oxidativa de sus aceites.

Los resultados observados en este trabajo, realizado con un modelo experimental y de análisis novedoso, del efecto del Ambiente sobre la concentración de ceras en aceite, la deposición de ácidos saturados y de ácido oleico coincidieron con las referencias bibliográficas consultadas, aportando mayor certeza a las conclusiones llegadas con anterioridad (Aguirrezabal *et al.*, 2002; Aguirrezabal *et al.*, 2003; Baydar y

Erbas, 2005; Echarte *et al.*, 2010a; Echarte *et al.*, 2013; Franchini y Hernandez, 2006; Izquierdo *et al.*, 2006; Morrison *et al.*, 1984; Triki *et al.*, 1997).

4. Respuesta de las características de calidad a la variación del rendimiento en aceite, del peso y número de granos y de los factores ambientales en forma combinada

a. Relación con el rendimiento en aceite, peso y número de granos.

No se pudieron establecer relaciones robustas entre las características de calidad, analizadas en este trabajo, con el rendimiento en aceite ni con el número de granos. Se observaron dos tipos de respuestas:

La exhibida por un grupo de datos para el cual tanto los análisis de varianza para la agrupación de Ambientes en base a índices de productividad como los análisis de correlación no fueron significativos; en este grupo se encontraron las variables de peso y porcentaje de cáscara (Tabla A4.1 y Tabla A4.4), contenido de ceras en grano y aceite (Tablas A5.1 y A5.4) y la concentración de los ácidos saturados en aceite (Tablas A8.1 y A8.2).

En el otro grupo se encontraron relaciones con rendimiento, pero estas reflejaban el efecto de otros factores, tal como la temperatura, que afectó de forma directa en el caso de los fosfolípidos (Figura 6.4) y los ácidos grasos insaturados en aceite (Figura 8.8), o en forma indirecta a través de su efecto sobre el peso de granos, como lo observado para tocoferoles (Figura 7.1) y aptitud al descascarado (Figura 4.2). También se identificó el efecto de una combinación de factores tales como peso de granos y concentración de ácido oleico para estabilidad oxidativa del aceite (Figura 9.2).

Es importante considerar, cuando se realizan análisis de asociación entre factores que implican causa efecto, si la respuesta observada es un efecto directo o es el reflejo de una combinación de factores que se expresan a través de alguno de los componentes estudiados, como en los casos arriba mencionados.

La concentración de ácido mirístico en aceite, ácido graso ligado a efectos aterogénicos (Saadoun, 2010), fue el único factor evaluado que presentó una relación directa con rendimiento (Figura 8.1). No se encontraron antecedentes de esta respuesta.

b. Efecto del contenido de nitrógeno inicial.

El efecto del contenido inicial del nitrógeno sobre las características de calidad de aceite y granos de girasol es poco conocido; en la literatura consultada no se encontraron trabajos que exploren una amplia gama de nitrógeno inicial disponible. Los trabajos hallados evaluaron, principalmente, respuestas a la fertilización para facilidad al descascarado (Browne *et al.*, 2003; Garcia Ruiz, 1994; Merrien *et al.*, 1992; Nel, 2001) o para composición acídica (Ali *et al.*, 2012; Steer y Seiler, 1990; Zheljazkov *et al.*, 2009). Para tocoferoles se encontraron trabajos en colza (Egesel *et al.*, 2008) y en olivos (Fernández-Escoba *et al.*, 2004).

Estos ensayos de respuesta a la fertilización, en general, captan una porción relativamente pequeña de la variabilidad total a través de Ambientes, por ejemplo en este trabajo, para ácido oleico, capturó el 0,5% de la suma de cuadrados, con una respuesta media de incremento del 5% (Tabla 8.1), remarcando que el efecto de las

condiciones de Ambientes son de mayor peso que el efecto de la fertilización. El efecto de las diferentes situaciones de Ambiente sobre las características de calidad debería ser conocido a fin de generar estrategias de posicionamiento para obtener calidades específicas.

El nitrógeno reveló un efecto directo sobre el rendimiento en aceite (Figura 3.3), sobre la concentración en aceite de tocoferoles (relación positiva) en aceite (Figura 7.3) y de fosfolípidos (relación negativa) en aceite (Figura 6.5). Para estas características se identificó un valor de partición de Ambientes en función del nitrógeno inicial de $56,5 \text{ kg N.ha}^{-1}$, valor donde se observó el rendimiento óptimo en aceite (Figuras 3.4, 6.6 Y 7.4). Esta separación de Ambientes generó 2 grupos, dentro de los cuales no se evidencio efecto del nitrógeno para fosfolípidos en aceite (Figura 6.5). En cambio la respuesta de la concentración de tocoferoles en aceite continuó siendo significativa (Figura 7.3); identificándose un umbral, en base al peso de granos ($21,6 \text{ mg.grano}^{-1}$), a partir del cual se observaría respuesta al nitrógeno (Figura 7.4).

Las relaciones anteriormente descritas, principalmente para fosfolípidos en aceite, podrían no reflejar exclusivamente el efecto del nitrógeno, al haberse identificado alta correlación entre esta característica del suelo y los factores climáticos incluidos en este estudio.

El peso de cáscara, la aptitud al descascarado, el contenido de ceras en aceite y de ácidos grasos insaturados si bien revelaron algún grado de asociación con el contenido de nitrógeno inicial, análisis complementarios demostraron que reflejaban el efecto del nitrógeno sobre el peso de los granos (Figuras 4.1, 4.2, 5.1 Y 8.8).

El efecto observado del nitrógeno podría estar relacionado a la acción conjunta con factores climáticos que generen un índice foliar alto (Debaeke *et al.*, 1998; Debaeke y Pérès, 2003; Nasim *et al.*, 2012), afín a condiciones de humedad relativa dentro de la canopia propicias para el desarrollo de enfermedades del girasol (Delos y Moinard, 1997), aumentando la susceptibilidad del cultivo a las enfermedades, lo cual se manifiesta en una tasa de senescencia de las hojas superior (Seassau *et al.*, 2010), que podría disminuir la fijación de carbono durante el llenado afectando, potencialmente, el peso de los aquenios al reducir la tasa de llenado (Andrade y Ferreiro, 1996; Dosio *et al.*, 2000).

c. Efecto conjunto de los factores ambientales

El efecto conjunto de los factores ambientales sobre las características de calidad y sus interrelaciones fue estudiado utilizando la técnica de componentes principales. Los Ambientes fueron divididos en dos grupos, de acuerdo a los resultados previamente obtenidos, por una parte las 9 localidades correspondientes a las zonas Oeste y Sur (Figura 10.1) y por otro las correspondientes al NEA y Quemu Quemú (Figura 10.2).

Para el análisis conjunto de las zonas oeste y sur, los dos primeros ejes del análisis de componentes principales explicaron el 55,8% de la variabilidad total, la correlación cofenética fue de 0,884. El primer eje (36,7% de la SC) separó, con valores positivos, a características que presentan una relación negativa con el porcentaje de aceite del grano, tales como la concentración de ceras, tocoferoles y ácido oleico en aceite y la estabilidad oxidativa del aceite (Tabla A10.1), conjuntamente con la relación Proteínas/aceite, acompañadas por características de clima que afectaron la deposición de aceite, tales como HR, en ambos períodos (R1-R5 – R5+300°Cd), temperatura,

precipitaciones y agua útil en R5+300°Cd. Con valores negativos, se agruparon las características relacionadas directamente al tamaño y a la cantidad de aceite por grano, tales como peso de cáscara, peso de ceras por grano, concentración de fosfolípidos y porcentaje de ácidos saturados en aceite (Tabla A10.1), conjuntamente con el porcentaje de aceite y peso de aceite por granos, el peso por grano y el porcentaje de hojas verdes en R7, definidas por temperatura y lluvias en el período R1-R5, PAR incidente en el período R5+300°Cd y el contenido de nitrógeno inicial (Figura 10.1 y Tabla A10.2).

El segundo eje capturó el 19,1% de la SC, separó con valores positivos al peso de ceras por grano, con las variables de peso de granos, aceite por grano y porcentaje de aceite, acompañado por temperatura, precipitaciones y agua útil en ambos períodos, asociación semejante a lo observado en el primer eje para peso de ceras por granos. Con valores negativos se agrupó el peso de la cáscara, la aptitud al descascarado y la concentración de tocoferoles en aceite, conjuntamente con el PAR incidente en ambos períodos (Figura 10.1 y Tabla A10.2).

El tercer componente (14% de la SC) reveló la asociación de aptitud al descascarado con temperatura en ambos momentos. El resto de las relaciones fueron semejantes a las descritas anteriormente (Tabla A10.2).

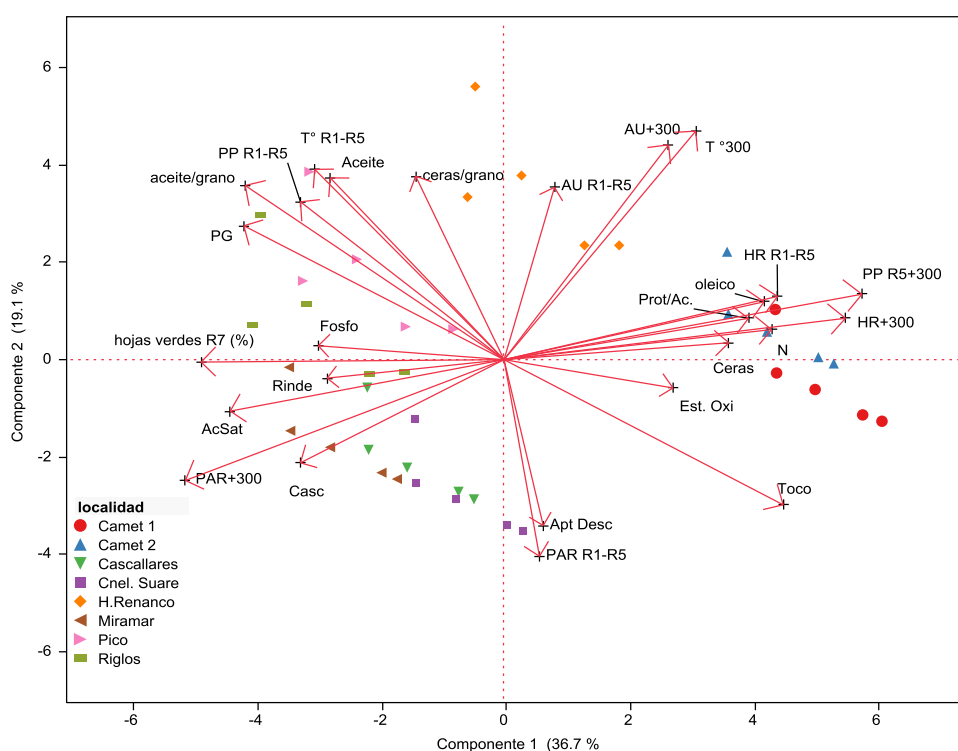


Figura 10.1: Relación, para las zonas Oeste y Sur, entre las características de calidad estudiadas (Casc=Cáscara (mg.grano^{-1}), Apt/Desc= Aptitud al descascarado (%), ceras/grano=peso de ceras por grano (mg.grano^{-1}), Ceras=concentración de ceras en aceite (mg.g aceite^{-1}), Fosfo=Fosfolípidos en aceite (mg.g aceite^{-1}), Toco=Tocoferoles en aceite ($\mu\text{g.g aceite}^{-1}$), Ac Sat=Ácidos grasos saturados (%), Oleico=Ácido oleico (%) y Est.Oxi=Estabilidad oxidativa (h), con características fenotípicas (rendimiento aceite ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), PG, Aceite (%), Proteínas(%)/Aceite(%), Aceite(%)/granos(mg.grano^{-1}) y %hojas verdes en R7) y factores ambientales ($T^{\circ}\text{C min}$, PAR, precipitaciones, HR y AU en las etapas fenológicas R1-R5 y R5+300°Cd y el contenido de nitrógeno inicial en el suelo ($\text{N kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)) seleccionados, representadas como vectores obtenidos por el análisis de componentes principales. Los símbolos representan a las localidades y la dispersión de valores de cada color representa a los Genotipos dentro de localidad, no identificados. Con 2 componentes se explicó el 55,8% de la variabilidad total de 26 características. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de las abreviaturas utilizadas en esta Figura.

El análisis de componentes principales de la zona NEA más Quemu Quemu capturo en los 2 primeros ejes el 69,5% de la variabilidad total, con una correlación cofenética igual a 0,948. La relación entre las características de calidad con las fenotípicas indirectas y las ambientales fue semejante a la observada para la agrupación analizada anteriormente, con la excepción de la concentración de ceras, fosfolípidos y tocoferoles en aceite (Figura 10.2 y Tabla A10.2). Este cambio en las relaciones estaría determinado por la diferencia en los valores de cada una de estas características entre las localidades del NEA y Quemu Quemu, Ambiente que presentó valores superiores de aceite y de ceras por grano e inferiores de fosfolípidos en aceite. La concentración de tocoferoles en aceite fue semejante en ambos grupos, explicando su posición en el centro del gráfico.

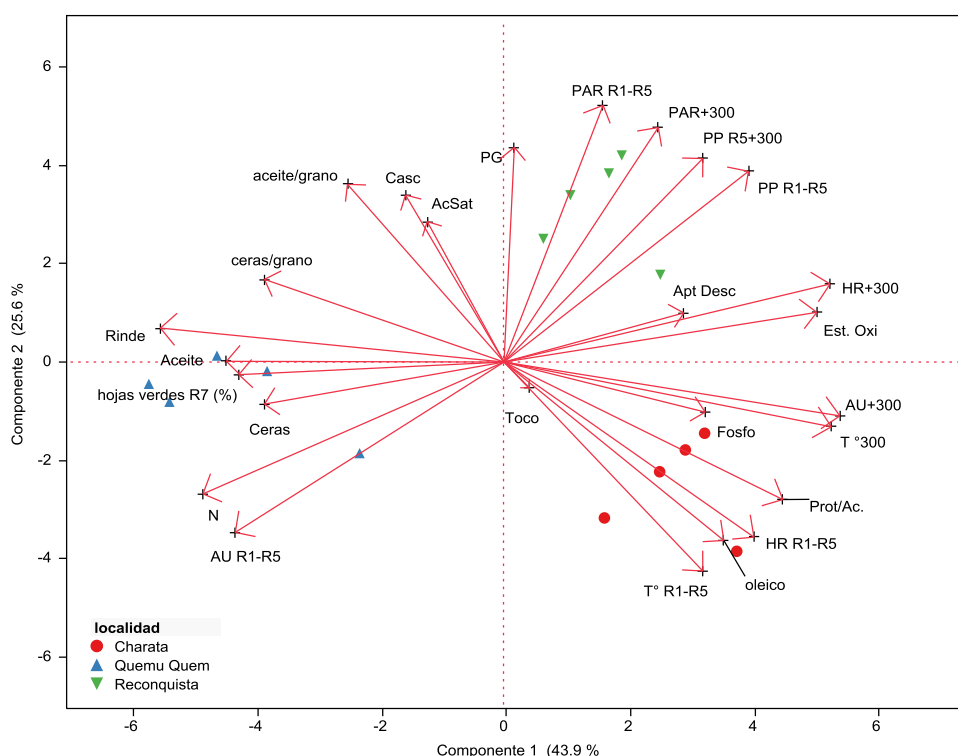


Figura 10.2: Relación, para la zona NEA y Quemu Quemu, entre las características de calidad estudiadas (Casc=Cáscara (mg.grano^{-1}), Apt/Desc= Aptitud al descascarado (%), ceras/grano=peso de ceras por grano (mg.grano^{-1}), Ceras=concentración de ceras en aceite (mg.g aceite^{-1}), Fosfo=Fosfolípidos en aceite (mg.g aceite^{-1}), Tocoferoles en aceite ($\mu\text{g.g aceite}^{-1}$), Ac Sat=Ácidos grasos saturados (%), Oleico=Ácido oleico (%) y Est.Oxi=Estabilidad oxidativa (h), con características fenotípicas (rendimiento aceite (kg.grano^{-1}), PG, Aceite (%), Proteínas(%)/Aceite(%), Aceite(%)/granos(mg.grano^{-1}) y %hojas verdes en R7) y factores ambientales ($T^{\circ}\text{C min}$, PAR, precipitaciones, HR y AU en las etapas fenológicas R1-R5 y R5+300 $^{\circ}\text{Cd}$ y el contenido de nitrógeno inicial en el suelo (N kg.grano^{-1})) seleccionados, representadas como vectores obtenidos por el análisis de componentes principales. Los símbolos representan a las localidades y la dispersión de valores de cada color representa a los Genotipos dentro de localidad, no identificados. Con 2 componentes se explicó el 69,5% de la variabilidad total de 26 características. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de las abreviaturas utilizadas en esta Figura.

Se observaron cambios en los efectos que ejercen los factores ambientales sobre las características de calidad, tanto entre los periodos incluidos en el modelo como entre zonas. En el grupo que incluyó a Ambientes de las zonas sur y oeste se observó que la temperatura y las precipitaciones en la etapa R1-R5 estuvieron directamente relacionadas al rendimiento en aceite, porcentaje de aceite y de peso de granos y porcentaje de hojas verdes en R7, indicando una combinación de factores que

favorecerían un mejor crecimiento del cultivo. En la etapa R5+300°Cd, la relación fue inversa a la detallada anteriormente, sugiriendo un cambio en la eficiencia de utilización de carbohidratos, posiblemente, tanto por efecto de la temperatura como por efecto de las enfermedades sobre la duración del aparato fotosintético, como fue discutido en anterioridad (Figura 10.1 y Tabla A10.2).

En la zona NEA y Quemu Quemu, el efecto de la temperatura y de las precipitaciones sobre las características enumeradas anteriormente fueron negativos en ambas etapas. El agua útil disponible en la etapa R1-R5 presentó un efecto positivo sobre el rendimiento y el porcentaje de aceite del grano.

El contenido de nitrógeno inicial reveló relaciones inversas entre estos dos grupos. En el grupo de Ambientes del sur y oeste, con un valor promedio de 58,1 kg.ha⁻¹, su relación con rendimiento, porcentaje de aceite y peso de granos y contenido de aceite por grano fue negativa, indicando, tal lo comentado anteriormente, una acción en conjunto con las condiciones de Ambiente que favorecen altos porcentajes de humedad dentro del cultivo afectando la duración de la fuente de fotosintatos. La relación con el porcentaje de hojas verdes en R7 fue negativa (Figura 10.1 y Tabla A10.2).

En el otro grupo, con un valor promedio de 19,6 kg.ha⁻¹, el nitrógeno presentó una relación directa con rendimiento, porcentaje de aceite del grano y hojas verdes, indicando una posible deficiencia en su disponibilidad (Figura 10.2 y Tabla A10.2).

El conocimiento de las relaciones entre características de calidad y factores ambientales y como estas relaciones pueden cambiar a través del ciclo y/o a través de las combinaciones de los diferentes factores, ayudan a comprender: sobre que componentes fenotípico están actuando, el posicionamiento de cultivos para obtener una calidad determinada, así como a determinar el conjunto de prácticas agronómicas que colaboren a obtener el resultado buscado.

A efectos de optimizar la expresión de una determinada característica de calidad se deberían considerar las prácticas agronómicas de: a) selección de la fecha de siembra, con el objetivo de ubicar el período crítico en condiciones ambientales que favorezcan su expresión; b) seleccionar genotipos adaptados a la condición de ambiente seleccionada y con mayor capacidad de expresión de la característica deseada, y c) manejo sanitario y estructura del cultivo con el objetivo intervenir sobre la concentración de aceite en el grano. En la Figura 10.3 se representa en forma esquemática la visión global abordada en esta tesis.

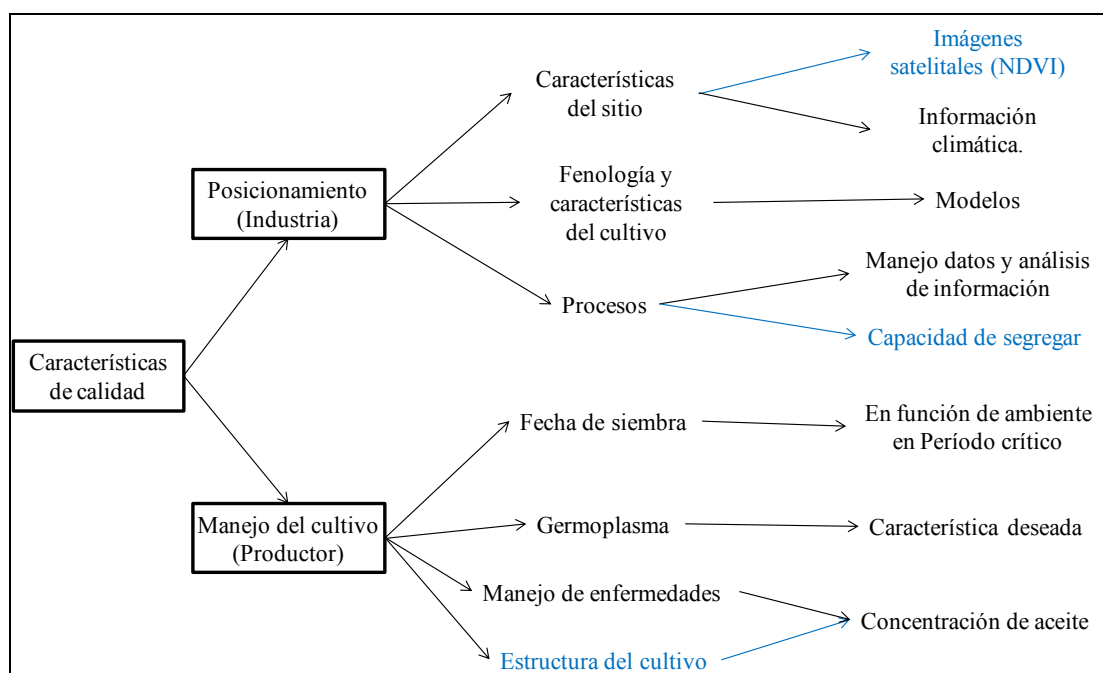


Figura 10. 3: Representación esquemática de la Visión global abordada en esta tesis. Temas en letra azul no fueron abordados específicamente en el desarrollo de los temas

5. Reconstrucción del modelo conceptual inicialmente propuesto en función de los resultados observados.

En base al modelo conceptual inicial, construido en función de la información brindada por la bibliografía (Figura 1.1), y de los resultados obtenidos en el presente trabajo se construyó un nuevo modelo, el cual fue dividido en dos partes a efectos de facilitar su comprensión. Una parte con las características de calidad relacionadas a principalmente a factores industriales, peso de cáscara, aptitud al descascarado y contenido de ceras en el aceite (Figura 10.4) y otra con las características relacionadas a la calidad del aceite, composición ácida, contenido de tocoferoles y fosfolípidos y estabilidad oxidativa de la misma (Figura 10.5). Esta separación fue realizada puramente para lograr mayor claridad, dado que los efectos y factores que figuran en ambos diagramas son complementarios. Las similitudes, diferencias y aportes encontradas al comparar estos diagramas, el presentado en el Capítulo introductorio (Figura 1.1) y los que incluyen los resultados hallados en este trabajo (Figuras 10.5 y 10.5), fueron discutidas durante el desarrollo de los diferentes temas.

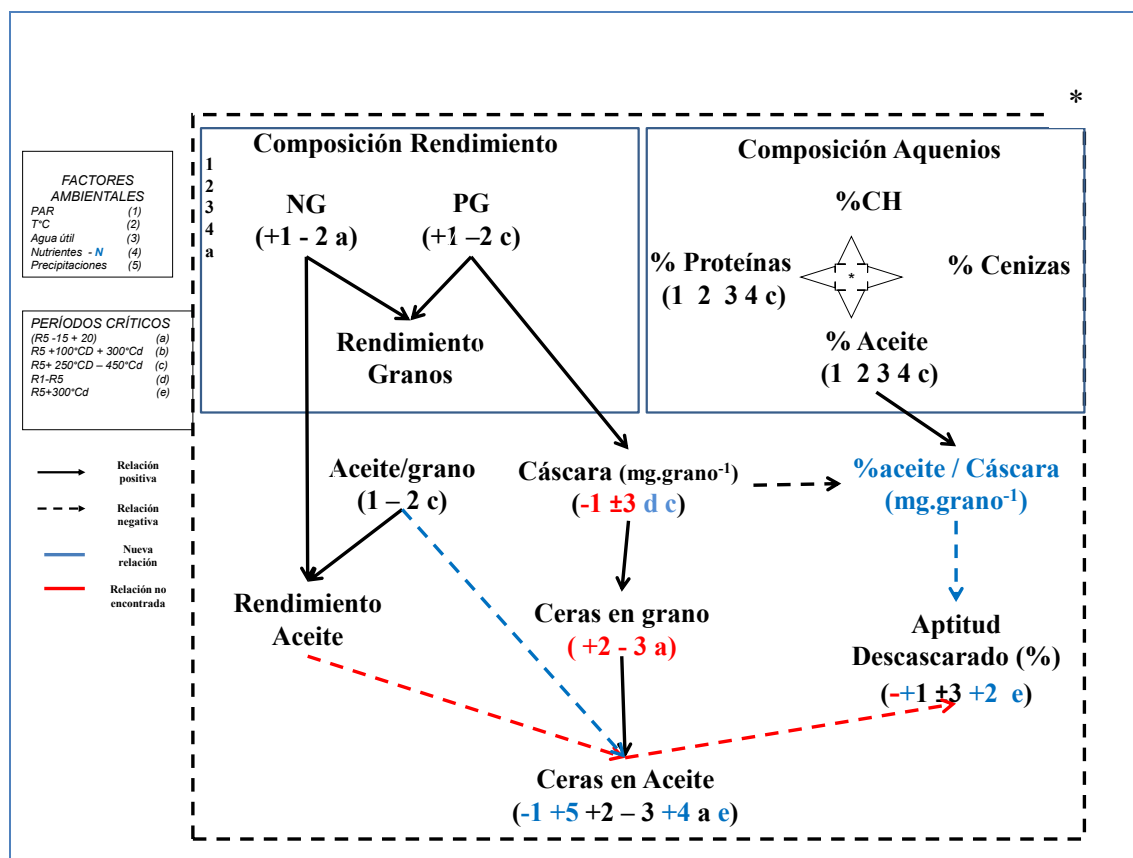


Figura 10.4: Representación esquemática de las relaciones entre rendimiento y sus componentes, composición centesimal del grano, peso de cáscara por grano, aptitud al descascarado y concentración de ceras en aceite basadas en los antecedentes encontrados en la revisión bibliográfica (color negro) aportes de este trabajo (color azul) y diferencias entre este trabajo y la bibliografía (color rojo). Se considera que Genotipo, Ambiente (Zona agroecológica – localidad) y su interacción son determinantes mayores en estas relaciones por lo que su efecto no es explicitado. Los indicadores muestran los principales factores ambientales, (números) y el periodo crítico (letra) en que alguno de los componentes manifiesta mayor sensibilidad. Los indicadores dentro de un recuadro hacen referencia al conjunto de componentes que se encuentran dentro de la caja que los contiene. Al lado de cada indicador numérico, el signo positivo (+) significa efecto directo y el negativo (-) efecto inverso del factor ambiental sobre el parámetro. (*) La suma de los componentes es igual a 100%, por lo cual variaciones en uno de los componentes implica variaciones en los otros. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de las abreviaturas utilizadas en esta Figura.

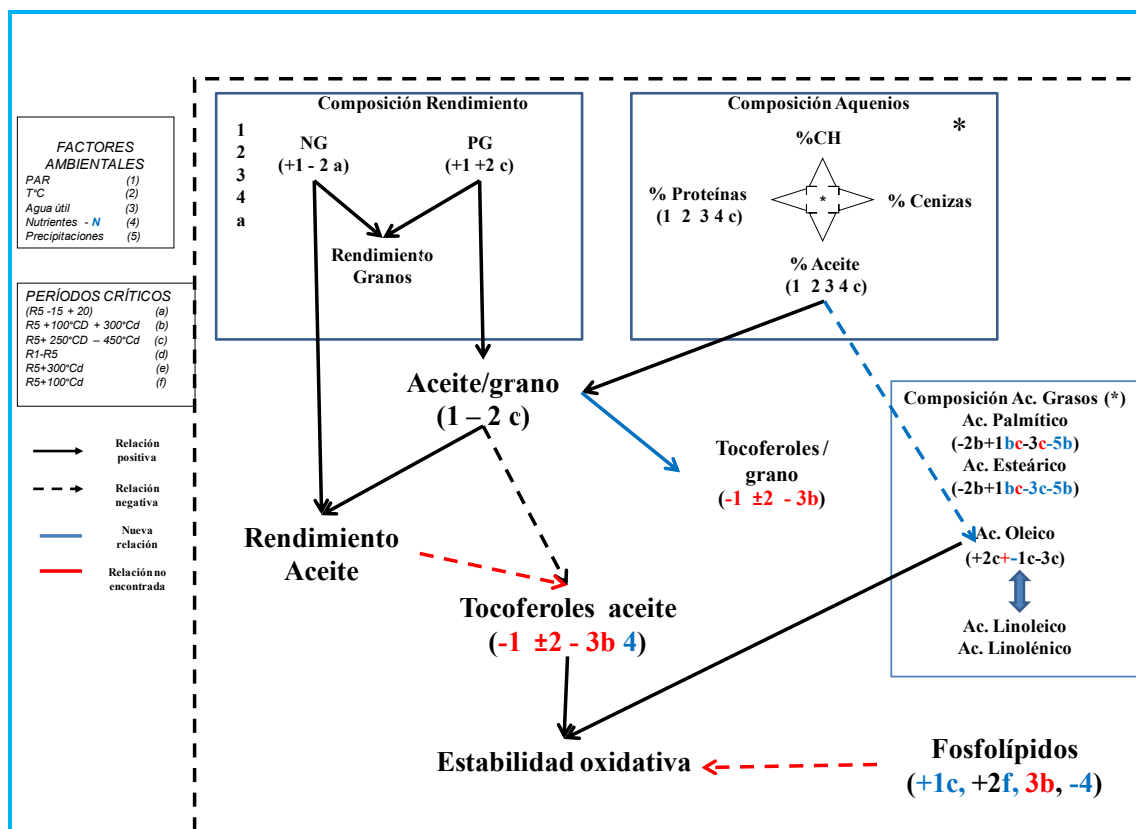


Figura 10.5: Representación esquemática de las relaciones entre rendimiento y sus componentes, composición centesimal del grano y composición ácida, contenidos de tocoferoles, fosfolípidos y estabilidad oxidativa del aceite de girasol, basadas en los antecedentes encontrados en la revisión bibliográfica (color negro) aportes de este trabajo (color azul) y diferencias entre este trabajo y la bibliografía (color rojo). Se considera que Genotipo, Ambiente (Zona agroecológica – localidad) y su interacción son determinantes mayores en estas relaciones por lo que su efecto no es explicitado. Los indicadores muestran los principales factores ambientales, (números) y el periodo crítico (letra) en que alguno de los componentes manifiesta mayor sensibilidad. Los indicadores dentro de un recuadro hacen referencia al conjunto de componentes que se encuentran dentro de la caja que los contiene. Al lado de cada indicador numérico, el signo positivo (+) significa efecto directa y el negativo (-) efecto inverso del factor ambiental sobre el parámetro. (*) La suma de los componentes es igual a 100%, por lo cual variaciones en uno de los componentes implica variaciones en los otros. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de las abreviaturas utilizadas en esta Figura.

B. Cumplimiento de Hipótesis y de Objetivos

1. Las características de calidad de granos y aceite de girasol no presentaron en forma uniforme una contribución relativa del Ambiente a la variabilidad total superior a la del Genotipo. Para las características de peso de cáscara y aptitud al descascarado de los granos, para el contenido en aceite y grano de tocoferoles y fosfolípidos y para la composición ácida y la estabilidad oxidativa del aceite, la contribución del Ambiente a la variabilidad total fue superior a la del Genotipo, por lo cual es aceptada la Hipótesis 1 para estas características. Para las características de contenido de ceras en aceite y granos la variabilidad explicada por el efecto principal Genotipo fue superior a la explicada por el Ambiente, por lo cual debe rechazarse la Hipótesis 1 para estas características.
2. Todas las características estudiadas presentaron diferencias entre los Genotipos evaluados, indicando variabilidad genética para las mismas, en base a lo cual la hipótesis 2 es aceptada.
3. Se observaron efectos directos sobre la aptitud al descascarado, la composición ácida y sobre la concentración de ceras y fosfolípidos en aceite de los factores ambientales. En cambio, el peso de la cáscara, la concentración de tocoferoles en

aceite y la estabilidad oxidativa de la misma, no revelaron un efecto directo de los mismos. No obstante lo anterior se pudo identificar diferencias en la magnitud del efecto de los factores ambientales sobre estas características en las diferentes etapas fenológicas estudiadas, identificando aquellas en las cuales su efecto explicó en mayor medida la variabilidad de los resultados encontrados permitiendo aceptar la hipótesis 3.

4. Se observaron diferentes tipos de relaciones entre las características de calidad con el rendimiento y con el número de granos por unidad de superficie. El peso y el porcentaje de cáscara, el contenido de ceras y la concentración de los ácidos grasos saturados en aceite no presentaron relaciones significativas. Otras características si bien presentaron correlaciones significativas con el rendimiento y número de granos estas reflejaban un efecto indirecto de los factores ambientales sobre las mismas; la relación con fosfolípidos y con ácidos grasos insaturados en aceite enmascara el efecto de la temperatura, la relación de la aptitud al descascarado de los granos y de la concentración de tocoferoles en aceite con el rendimiento en aceite y con el número de granos por unidad de superficie enmascara la relación con peso de granos. También se identificó que la relación de estabilidad oxidativa del aceite con rendimiento reflejaba el efecto de una combinación de factores tales como peso de granos y concentración de ácido oleico. Para el conjunto de características de calidad de granos y aceite nombrado anteriormente se rechaza la Hipótesis 4. El ácido mirístico presentó una relación positiva tanto con rendimiento en aceite como con número de granos, por lo cual, para este ácido graso saturado se acepta la Hipótesis 4.
5. El contenido de nitrógeno inicial en el suelo no presentó un efecto uniforme sobre el conjunto de características de calidad de granos y aceite estudiadas. Para el peso de la cáscara y para la aptitud al descascarado se observó un efecto indirecto, positivo, a través del efecto del nitrógeno sobre el peso de los granos. Para la concentración de ceras y tocoferoles en aceite se observó un efecto directo, positivo, del contenido de nitrógeno en el suelo. Para el conjunto de variables de calidad de aceite y granos nombrados anteriormente se acepta la Hipótesis 5. En contraposición, la composición ácida ni la estabilidad oxidativa del aceite presentaron respuestas al contenido inicial de nitrógeno del suelo; mientras que la concentración de fosfolípidos en aceite disminuyó al incrementarse el contenido de nitrógeno en el suelo, permitiendo separar dos Ambientes, a partir de los 56.4 N kg. ha⁻¹, sin diferencias dentro de cada grupo. Este valor de N fue semejante al observado en el análisis de partición recurrente para tocoferoles en aceite. En base a estos resultados, para estas últimas características se rechaza la Hipótesis 5.
6. La combinación de factores que influyeron sobre la estabilidad oxidativa del aceite dependió principalmente de la temperatura mínima en la etapa fenológica R5+250-450°Cd. En los Ambientes con temperaturas mínimas superiores a 19,5°C se generaron altas concentraciones de ácido oleico (superiores a 38%), siendo el factor que actuó principalmente sobre la estabilidad oxidativa del aceite (51% SC). En Ambientes con temperaturas mínimas inferiores a 19,5°C, el efecto del ácido oleico sobre la estabilidad oxidativa del aceite fue menor (14% de la SC), dependiendo la estabilidad oxidativa del nivel de insaturación del aceite, representado por el índice de yodo (20% SC), y por la concentración de tocoferoles en aceite (13% SC). El efecto de los fosfolípidos no fue significativo. En base a estos se rechaza la hipótesis 6.

En esta tesis se estudiaron para las características de peso de la cáscara y aptitud al descascarado de los granos, la composición ácida, los contenidos de ceras,

tocoferoles y fosfolípidos y la estabilidad oxidativa del aceite de girasol, los efectos del Genotipo, del Ambiente y su interacción, identificando la contribución relativa de cada uno de estos factores a la variabilidad total (Objetivo 1). Se identificaron las etapas fenológicas de máxima respuesta de estas características de calidad al efecto combinado de los factores ambientales, identificando y cuantificando la importancia relativa de los mismos (Objetivos 2 y 3). Se identificaron combinaciones de Ambientes y Genotipo que permiten obtener una conjunción de características de calidad superior para un uso determinado (Objetivos 3), integrando los resultados obtenidos se construyó un nuevo modelo conceptual, basado en el modelo presentado en la introducción (Objetivo 4).

En función de los resultados encontrados se construyó un modelo que incluye las etapas fenológicas y el peso relativo de los factores que influyen sobre las características de calidad (Figuras 10.6 y 10.7).

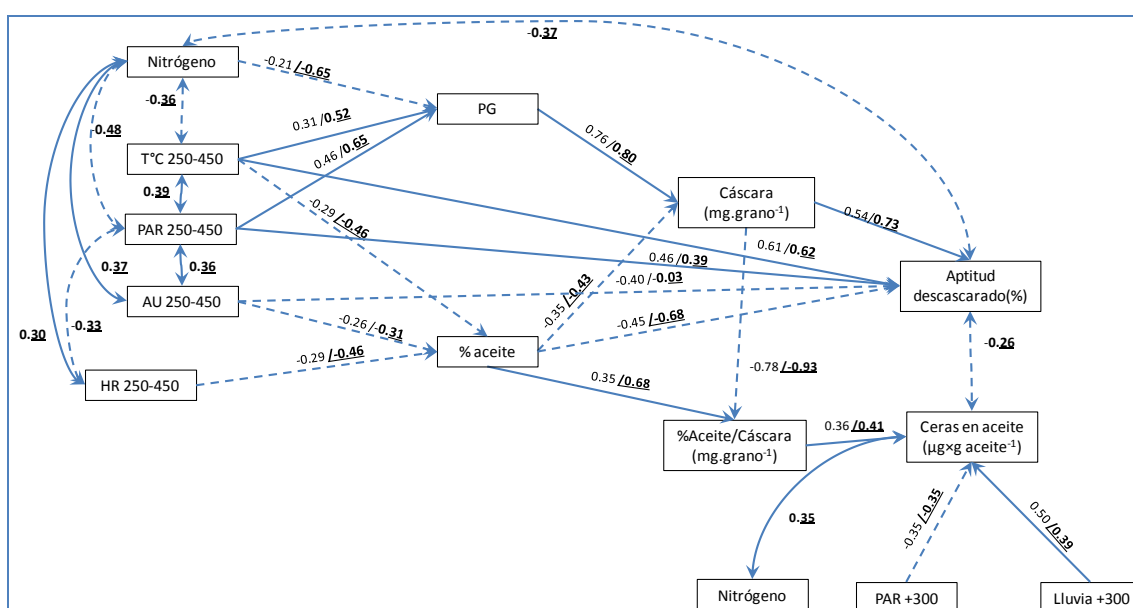


Figura 10.6: Representación esquemática de las relaciones causa/efecto de los componentes de la calidad relacionados a la cáscara del fruto de girasol en función de características fenotípicas y factores ambientales. Términos de coeficientes de correlación parcial (efectos directos) son representados por vectores unidireccionales y por valores sin subrayar, que figuran como numerador. Coeficientes de correlación de Pearson representados por arcos bi-direccionales y/o por valores subrayados, figuran como denominador. Líneas continuas representan relaciones directas, líneas punteadas relaciones inversas. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de aquellas utilizadas en esta figura.

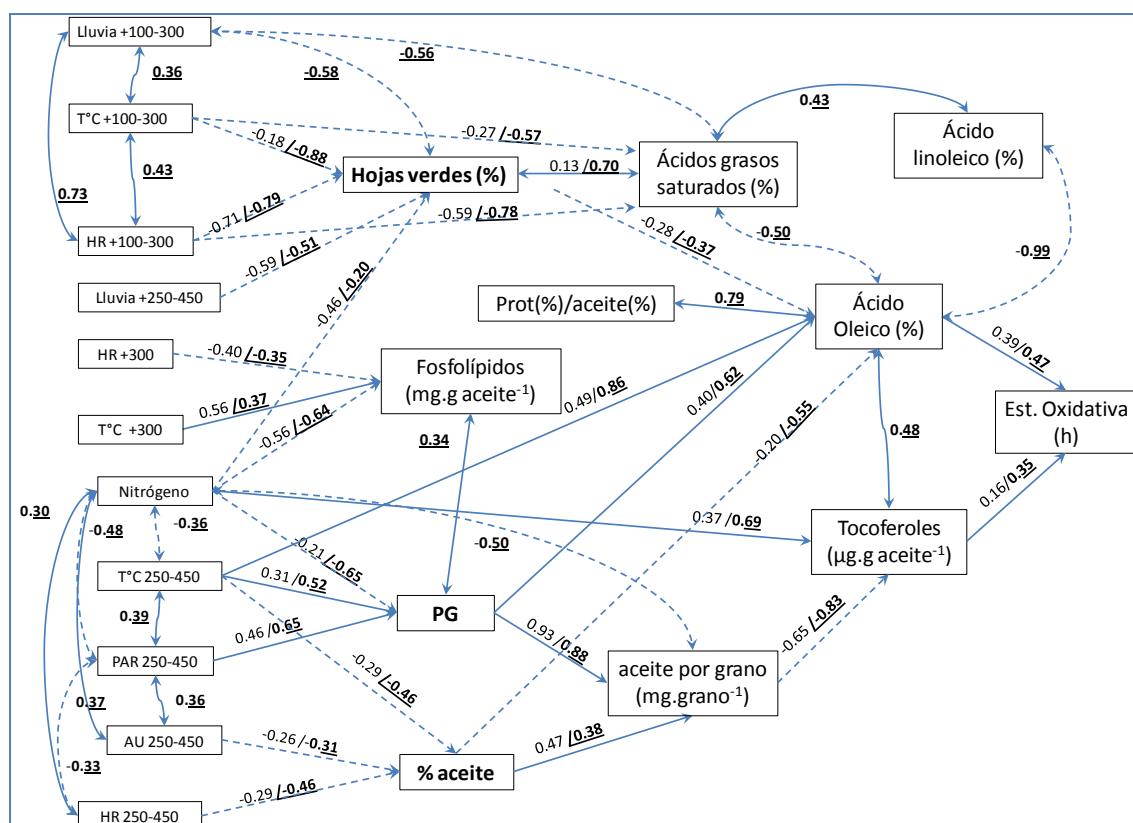


Figura 10.7: Representación esquemática de las relaciones causa/efecto de los componentes de la calidad relacionados al aceite de girasol en función de características fenotípicas y factores ambientales. Términos de coeficientes de correlación parcial (efectos directos) son representados por vectores unidireccionales y por valores sin subrayar, que figuran como numerador. Coeficientes de correlación de Pearson representados por arcos bi-direccionales y/o por valores subrayados, figuran como denominador. Líneas continuas representan relaciones directas, líneas punteadas relaciones inversas. Ver índice de abreviaturas, página xviii, para el significado de aquellas otras utilizadas en esta figura.

C. Resultados adicionales

Se pueden enumerar como resultados adicionales:

1. El peso de granos, el porcentaje de aceite del grano y el porcentaje de hojas verdes en R7 fueron las características fenotípicas con mayor incidencia sobre las características de calidad estudiadas. En este grupo podría incluirse el porcentaje de proteínas del grano, el cual presentó a través de la relación proteínas (%) / aceite(%) una alta relación con la composición ácida. La concentración de ácidos grasos saturados en aceite fue la única característica estudiada que no estuvo relacionada al peso de granos y/o al porcentaje de aceite del grano.
2. Se identificó como un indicador de la aptitud al descascarado de los granos a la relación %aceite/peso de cáscara (mg.grano^{-1}). Este indicador no es sensible al efecto Genotipo.
3. Se encontró una fuerte relación positiva entre la concentración de ácido oleico en aceite y la relación proteínas (%) / aceite(%), no sensible a Genotipo, la cual puede ser considerada como un índice ambiental.
4. Las respuestas de los distintos compuestos de fosfolípidos en aceite a las características climáticas fue semejante a la observada para fosfolípidos totales; con la salvedad que la fosfatidil etanolamina (PE) presentó respuesta positiva a incrementos en PAR.

5. Los dos isómeros de tocoferoles detectados en el aceite de girasol (α y β tocoferol) presentaron respuestas semejantes a los tocoferoles totales en aceite, sin interacción entre ellos.

D. Perspectivas

Del conjunto de resultados obtenidos surgen una serie de interrogantes que merecen mayor investigación y la formulación de nuevas hipótesis de trabajo. Estas incluyen:

1. El efecto directo sobre la aptitud al descascarado de los factores ambientales indica que los parámetros constitutivos de la cáscara cumplen un rol importante en su determinación.
2. El porcentaje y peso de la cáscara y la aptitud al descascarado del grano se relacionan en forma inversa a la disponibilidad de nitrógeno en el suelo debido a los cambios que genera en las condiciones físicoquímicas de la cáscara.
3. La relación positiva observada entre la concentración de ceras en aceite y el contenido de nitrógeno en el suelo refleja el efecto directo del nitrógeno sobre el porcentaje de aceite del grano.
4. El efecto sobre la concentración de fosfolípidos en aceite del nitrógeno en el suelo es debido a la conjunción del contenido de nitrógeno en el suelo con factores ambientales y con el estado de crecimiento y desarrollo del cultivo que afectan a la relación fuente destino en el período de deposición de aceite.
5. La relación directa entre concentración de tocoferoles en aceite con el nitrógeno en el suelo es debida a la acción inversa sobre el peso de los granos ejercido por el nitrógeno.
6. Considerando las relaciones encontradas entre porcentaje de hojas verdes y factores ambientales que la condicionan, la determinación de la composición ácida depende de la relación fuente destino.
7. Comprobar, con un conjunto más amplio de datos, la relación encontrada entre el porcentaje de ácido oleico y el índice ambiental % proteínas / % aceite.

Bibliografía

- Abbadi J., Gerendas J., Sattelmacher B. (2008) Effects of nitrogen supply on growth, yield and yield components of safflower and sunflower. *Plant and Soil* 306:167-180. DOI: 10.1007/s11104-008-9569-5.
- Aguirrezabal I., Izquierdo N.G., Nolasco S., Dosio G.A.A. (2002) Calidad, in: H. Sur (Ed.), *Manual Práctico para el Cultivo de Girasol*, Buenos Aires Argentina.
- Aguirrezabal L., Martre P., Pereyra-Irujo G., Izquierdo N., Allard V. (2009) Chapter 16 - Management and Breeding Strategies for the Improvement of Grain and Oil Quality, *Crop Physiology*, Academic Press, San Diego. pp. 387-421.
- Aguirrezabal L.A.N., Lavaud Y., Dosio G.A.A., Izquierdo N.G., Andrade F.H., González L.M. (2003) Intercepted Solar Radiation during Seed Filling Determines Sunflower Weight per Seed and Oil Concentration. *Crop Sci.* 43:152-161. DOI: 10.2135/cropsci2003.1520.
- Aguirrezabal L.A.N., Orioli G.A., Hernandez L.F., Pereyra V.R., Miravé J.P. (2001) *Girasol: Aspectos fisiológicos que determinan el rendimiento*. Primera edición ed.
- Aguirrezabal L.A.N., Pereyra V.R. (1998) *Girasol. Calidad de productos agrícolas, Bases ecofisiológicas, genéticas y de manejo agronómico*.
- Ahmad S., Anwar F., Hussain A., Ashraf M., Awan A. (2007) Does Soil Salinity Affect Yield and Composition of Cottonseed Oil? *Journal of the American Oil Chemists' Society* 84:845-851. DOI: 10.1007/s11746-007-1115-8.
- Aiken R.M. (2005) Applying Thermal Time Scales to Sunflower Development. *Agronomy Journal* 97:746. DOI: 10.2134/agronj2004.0181.
- Ali A., Ahmad A., Khaliq T., Akhtar J. (2012) Planting density and nitrogen rates optimization for growth and yield of sunflower (*helianthus annuus* L.) hybrids. *Journal of Animal and Plant Sciences* 22:1070-1075.
- Ali A., Ullah S. (2012) Effect of nitrogen on achene protein, oil, fatty acid profile, and yield of sunflower hybrids. *Chilean Journal of Agricultural Research* 72:564-567.
- Almonor G., Fenner G., Wilson R. (1998) Temperature effects on tocopherol composition in soybeans with genetically improved oil quality. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 75:591-596.
- Alpaslan M., Gündüz H. (2000) The effects of growing conditions on oil content, fatty acid composition and tocopherol content of some sunflower varieties produced in Turkey. *Food / Nahrung* 44:434-437. DOI: 10.1002/1521-3803(20001201)44:6<434::aid-food434>3.0.co;2-1.
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. (2006) *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos* FAO, Roma.
- Anastasi U., Cammarata M., Abbate V. (2000) Yield potential and oil quality of sunflower (oleic and standard) grown between autumn and summer. *Italian Journal of Agronomy* 4:23-36.
- Anastasi U., Santonoceto C., Giuffrè A.M., Sortino O., Gresta F., Abbate V. (2010) Yield performance and grain lipid composition of standard and oleic sunflower as affected by water supply. *Field Crops Research* 119:145-153. DOI: 10.1016/j.fcr.2010.07.001.

- Andrade F., Cirilo A., Uhart S., Otegui M. (1996) Ecofisiología del cultivo de maíz. Editorial La Barrosa-EEA Balcarce, CERBAS, INTA-FCA, UNMP."
- Andrade F.H., Ferreiro M.A. (1996) Reproductive growth of maize, sunflower and soybean at different source levels during grain filling. *Field Crops Research* 48:155-165. DOI: 10.1016/s0378-4290(96)01017-9.
- Andrade F.H., Sadras V.O. (2000) Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- AOAC. (1990) Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15 th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C., USA.
- AOCS. (1998) Official and Tentative Methods of the American Oil Chemists' Society,. 15th ed. AOCS Press, Champaign, Illinois USA.
- ASAGIR. (2004) Cuadernillo evaluación de cultivares. pp. www.asagir.org.ar.
- Ayerdi Gotor A., Berger M., Labalette F., Centis S., Dayde J., Calmon A. (2006) Variabilité des teneurs et compositions des composés mineurs dans l'huile de tournesol au cours du développement du capitule. Partie I-Tocophérols. OCL. Oléagineux, corps gras, lipides 13:206-212.
- Bahl G.S., Pasricha N.S., Ahuja K.L. (1997) Effect of fertilizer nitrogen and phosphorus on the grain yield, nutrient uptake and oil quality of sunflower. *Journal of the Indian Society of Soil Science* 45:292-296.
- Balalić I., Zorić M., Branković G., Terzić S., Crnobarac J. (2012) Interpretation of hybrid × sowing date interaction for oil content and oil yield in sunflower. *Field Crops Research* 137:70-77. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2012.08.005>.
- Baldini M., Vannozzi G., Cecconi F., Macchia M., Bonari E., Benvenuti A. (1994) Genetic analysis of hullability in sunflower. *Industrial Crops and Products* 3:29-35. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0926-6690\(94\)90075-2](http://dx.doi.org/10.1016/0926-6690(94)90075-2).
- Bäumler E., Cuniberti A., Nolasco S.M., Riccobene I.C. (2006) Moisture dependent physical and compression properties of safflower seed. *Journal of Food Engineering* 72:134-140. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.11.029>.
- Baydar H., Erbas S. (2005) Influence of seed development and seed position on oil, fatty acids and total tocopherol contents in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Turk J Agric For* 29:179-86.
- Beauguillaume A., Cadeac F. (1992) Elements of explication of the variability of dehulling ability in sunflower, 13th. International Sunflower Conference, Pisa, Italia. pp. 993 - 999.
- Beauguillaume A., Evrard J., Merreien A. (1992) Tournesol: Variété ou milieu quelles influences sur le decorticage. . *Oleoscope*. 12:16-17.
- Beringer H., Dampert W.U. (1976) Fatty Acid- and Tocopherol-Pattern in Oil Seeds. *Fette, Seifen, Anstrichmittel* 78:228-231. DOI: 10.1002/lipi.19760780603.
- Beringer H., Saxena N. (1968) Einfluß der Temperatur auf den Tocopherolgehalt von Samenfetten. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 120:71-78.
- Bozan B., Temelli F. (2008) Chemical composition and oxidative stability of flax, safflower and poppy seed and seed oils. *Bioresource Technology* 99:6354-6359. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.009>.
- Brady N.C., Weil R.R. (1996) The nature and properties of soils. No. Ed. 11 Prentice-Hall Inc.
- Bremner J., Mulvaney C. (1982) Nitrogen—total. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*:595-624.

- Browne R.A., White E.M., Burke J.I. (2003) Effect of nitrogen, seed rate and plant growth regulator (chlormequat chloride) on the grain quality of oats (*Avena sativa*). *Journal of Agricultural Science* 141:249-258. DOI: 10.1017/s0021859603003654.
- Cabrini L., Barzanti V., Cipollone M., Fiorentini D., Grossi G., Tolomelli B., Zambonin L., Landi L. (2001) Antioxidants and total peroxy radical-trapping ability of olive and seed oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49:6026-6032.
- Cantagallo J.E., Chimenti C.A., Hall A.J. (1997) Number of seeds per unit area in sunflower correlates well with a photothermal quotient. *Crop Science* 37:1780-1786.
- Cantagallo J.E., Hall A.J. (2002) Seed number in sunflower as affected by light stress during the floret differentiation interval. *Field Crops Research* 74:173-181. DOI: 10.1016/s0378-4290(01)00209-x.
- Cantagallo J.E., Medan D., Hall A.J. (2004) Grain number in sunflower as affected by shading during floret growth, anthesis and grain setting. *Field Crops Research* 85:191-202. DOI: 10.1016/s0378-4290(03)00160-6.
- Canvin D.T. (1965) The effect of temperature on the oil content and fatty acid composition of the oils from several oil seed crops. *Canadian Journal of Botany* 43:63-69.
- Carelli A., Frizzera L., Forbito P., Crapiste G. (2002) Wax composition of sunflower seed oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 79:763-768. DOI: 10.1007/s11746-002-0556-9.
- Carelli A.A., Brevedan M.I., Crapiste G.H. (1997) Quantitative determination of phospholipids in sunflower oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 74:511-514.
- Carelli A.A., Franco I.C., Crapiste G.H. (2005) Effectiveness of added natural antioxidants in sunflower oil. *Grasas y Aceites* 56:303 - 310.
- Carrera C., Martínez M.J., Dardanelli J., Balzarini M. (2009) Water Deficit Effect on the Relationship between Temperature during the Seed Fill Period and Soybean Seed Oil and Protein Concentrations. *Crop Sci.* 49:990-998. DOI: 10.2135/cropsci2008.06.0361.
- Carrera C., Martínez M.J., Dardanelli J., Balzarini M. (2011) Environmental Variation and Correlation of Seed Components in Nontransgenic Soybeans: Protein, Oil, Unsaturated Fatty Acids, Tocopherols, and Isoflavones. *Crop Science* 51:800-809.
- Coba Cisneros M. (2006) Modelización de ecuaciones estructurales. Quito. <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/227/1/CD-0226.pdf>
- Connor D., Sadras V. (1992) Physiology of yield expression in sunflower. *Field Crops Research* 30:333-389.
- Connor D.J., Hall A.J. (1997) Sunflower physiology. *Sunflower technology and production*:113-182.
- Conti M. (2000) Principios de Edafología con énfasis en suelos argentinos. 2da. Edición. Editorial Facultad de Agronomía. Fac. de Agronomía. UBA
- Craney T.A., Surles J.G. (2002) Model-Dependent Variance Inflation Factor Cutoff Values. *Quality Engineering* 14:391-403. DOI: 10.1081/QEN-120001878.
- Crossa J. (1990) Statistical analyses of multilocation trials. *Advances in agronomy* 44:55-85.
- Crossa J. (1998) Métodos para el análisis de la interacción Genotipo - Ambiente, Universidad Nacional de Lomas de Zamora. Curso, Lomas de Zamora.

- Crossa J., Cornelius P.L., Yan W. (2002) Biplots of linear-bilinear models for studying crossover genotype \times environment interaction. *Crop Science* 42:619-633.
- Cruz C.D. (2001) Programa Genes: versão Windows; aplicativo computacional em genética e estatística UFV.
- Chimenti C.A., Hall A.J. (2001) Grain number responses to temperature during floret differentiation in sunflower. *Field Crops Research* 72:177-184. DOI: 10.1016/S0378-4290(01)00175-7.
- Chimenti C., Hall A., Lopez M.S. (2001) Embryo-growth rate and duration in sunflower as affected by temperature. *Field Crops Research* 69:81-88
- Choe E., Min D.B. (2006) Mechanisms and Factors for Edible Oil Oxidation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 5:169-186. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2006.00009.x.
- Das S.K., Gupta R.K. (2005) Effects of Impeller Vane Configurations and Seed Size on Dehulling Efficiency of Sunflower Seeds Using a Centrifugal Sheller. *International Journal of Food Engineering* 1. DOI: 10.2202/1556-3758.1014.
- Dastane N. (1974) Effective Rain. FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations). Irrigation and Drainage, Paper 25.
- de Figueiredo A.K., Baumler E., Riccobene I.C., Nolasco S.M. (2011) Moisture-dependent engineering properties of sunflower seeds with different structural characteristics. *Journal of Food Engineering* 102:58-65. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2010.08.003.
- de La Vega A. (2009) Impacto de las diferencias entre regiones sobre el progreso genético del cultivo de girasol, ASAGIR, ASAGIR, www.ergonomix.com.
- de la Vega A.J., Chapman S.C. (2006) Multivariate Analyses to Display Interactions between Environment and General or Specific Combining Ability in Hybrid Crops. *Crop Science* 46:957. DOI: 10.2135/cropsci2005.08-0287.
- de la Vega A.J., Hall A.J. (2002a) Effects of planting date, genotype, and their interactions on sunflower yield: I. Determinants of oil-corrected grain yield. *Crop Science* 42:1191-1201.
- de la Vega A.J., Hall A.J. (2002b) Effects of planting date, genotype, and their interactions on sunflower yield: II. Components of oil yield. *Crop Science* 42:1202-1210.
- de la Vega A.J., Hall A.J., Kroonenberg P.M. (2002) Investigating the physiological bases of predictable and unpredictable genotype by environment interactions using three-mode pattern analysis. *Field Crops Research* 78:165-183. DOI: 10.1016/S0378-4290(02)00123-5.
- Debaeke p., Cabelguenne m., Hilaire a., Raffaillac d. (1998) Crop management systems for rainfed and irrigated sunflower (*Helianthus annuus*) in south-western France. *The Journal of Agricultural Science* 131:171-185. DOI: doi:null.
- Debaeke P., Pérès A. (2003) Influence of sunflower (*Helianthus annuus* L.) crop management on Phoma black stem (*Phoma macdonaldii* Boerema). *Crop Protection* 22:741-752. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0261-2194\(03\)00037-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0261-2194(03)00037-1).
- Dedio W. (1982) Variability in hull content, kernel oil content, and whole seed oil content of sunflower hybrids and parental lines. *Canadian Journal of Plant Science* 62:51-54. DOI: 10.4141/cjps82-007.
- Del Moral L., Pérez-Vich B., Fernández-Martínez J.M., Velasco L. (2011) Inheritance of increased seed tocopherol content in sunflower line IAST-413. *Plant Breeding* 130:540-543. DOI: 10.1111/j.1439-0523.2011.01865.x.
- Delos M., Moinard J. (1997) Phomopsis du tournesol: nouveaux progrès dans la prévision des épidémies. *Phytoma-La Défense des végétaux* 492:17-21.

- Demurin Y., Skoric D., Karlovic D. (1996) Genetic variability of tocopherol composition in sunflower seeds as a basis of breeding for improved oil quality. *Plant Breeding* 115:33-36.
- Denis L., Dominguez J., Baldini M., Vear F. (1994) Genetical studies of hullability in comparison with other sunflower seed characteristics. *Euphytica* 79:2 9-38.
- Denis L., Vear F. (1994) Environmental effects on hullability of sunflower hybrids. *Agronomie* 14:589 - 587.
- Denis L., Vear F. (1996) Variation of hullability and other seed characteristics among sunflower lines and hybrids. *Euphytica* 87:177-187. DOI: 10.1007/bf00023746.
- Di Leo M.J., I.C. R., Nolasco S.M. (2004) Variability in dehulling ability of sunflower hybrids (*Heliantus annuus*) in Argentina, 16^o International Sunflower Conference, Fargo ND, USA. pp. 591 - 595.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., C.W. R. (2012) InfoStat, in: G. InfoStat (Ed.), FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Dolde D., Vlahakis C., Hazebroek J. (1999) Tocopherols in breeding lines and effects of planting location, fatty acid composition, and temperature during development. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 76:349-355. DOI: 10.1007/s11746-999-0242-9.
- Dong G., Liu X., Chen Z., Pan W., Li H., Liu G. (2007) The dynamics of tocopherol and the effect of high temperature in developing sunflower (*Helianthus annuus* L.) embryo. *Food Chemistry* 102:138-145. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.05.013.
- Dornbos D.L., Jr., Mullen R.E. (1992) Soybean seed protein and oil contents and fatty acid composition adjustments by drought and temperature. *Journal of the American Oil Chemists Society* 69:228-231. DOI: 10.1007/BF02635891.
- Dorrell D.G., Huang H.C. (1978) Influence of Sclerotinia Wilt on Seed Yield and Quality of Sunflower Wilted at Different Stages of Development1. *Crop Sci.* 18:974-976. DOI: 10.2135/cropsci1978.0011183X001800060017x.
- Dosio G.A.A., Aguirrezabal L.A.N., Andrade F.H., Pereyra V.R. (2000) Solar radiation intercepted during seed filling and oil production in two sunflower hybrids. *Crop Science* 40:1637-1644.
- Dumanski J., Pettapiece W.W., McGregor R.J. (1998) Relevance of scale dependent approaches for integrating biophysical and socio-economic information and development of agroecological indicators, in: P. Finke, et al. (Eds.), *Soil and Water Quality at Different Scales*, Springer Netherlands. pp. 13-22.
- Dwivedi S.L., Nigam S.N., Rao R.C.N. (2000) Photoperiod Effects on Seed Quality Traits in Peanut Mention of commercial products of companies does not imply endorsement or recommendation by ICRISAT over others of similar nature. *Crop Sci.* 40:1223-1227. DOI: 10.2135/cropsci2000.4051223x.
- Echarte M., Peyrera-Irujo G., Covi M., Aguirrezabal N.I., LAN. (2010a) Producing better sunflower oils in a changing environment. *Advances in Fats and Oils Research*.
- Echarte M.M., Alberdi I., Aguirrezabal L.A. (2012) Post-Flowering Assimilate Availability Regulates Oil Fatty Acid Composition in Sunflower Grains. *Crop Science* 52:818-829.
- Echarte M.M., Angeloni P., Jaimes F., Tognetti J., Izquierdo N.G., Valentinuz O., Aguirrezabal L.A.N. (2010b) Night temperature and intercepted solar radiation additively contribute to oleic acid percentage in sunflower oil. *Field Crops Research* 119:27-35. DOI: 10.1016/j.fcr.2010.06.011.

- Echarte M.M., Puntel L.A., Aguirrezabal L.A. (2013) Assessment of the critical period for the effect of intercepted solar radiation on sunflower oil fatty acid composition. *Field Crops Research* 149:213-222.
- Egesel C., Gül M.K., Kahrıman F., Özer İ., Türk F. (2008) The effect of nitrogen fertilization on tocopherols in rapeseed genotypes. *European Food Research and Technology* 227:871-880. DOI: 10.1007/s00217-007-0798-2.
- El-Zaher H., Saad A.F., Osman A.M., Kerlous R.G. (2004) Effect of organic amendments and water stress on oil crops grown in calcareous soils. 1 - Hydrophysical and chemical properties, water consumptive use and water use efficiency. *Alexandria Journal of Agricultural Research* 49:119-130.
- Eller F.J., List G.R., Teel J.A., Steidley K.R., Adlof R.O. (2005) Preparation of Spread Oils Meeting U.S. Food and Drug Administration Labeling Requirements for Trans Fatty Acids via Pressure-Controlled Hydrogenation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53:5982-5984. DOI: 10.1021/jf047849+.
- Entralgas I., Gandini M., Usunoff E., Vaml M. (1995) Delimitación de regiones homogéneas. 1. Aspectos metodológicos de la regionalización. *Actas de la XVII Reunión Argentina de Ecología*:221.
- Estrada J.A.E. (1999) Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra* 17.2: 149-157
- Fernández-Escoba R., García-Novelo J.M., Restrepo H., Benlloch M., Uceda M., Beltrán G., Aguilera M.P. (2004) Influencia del abonado nitrogenado y potásico en la calidad del aceite de oliva, in: CAO99-001 (Ed.), Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (Spain) INIA, Madrid, España.
- Fernández M.B., Riccobene I.C., Nolasco S.M. (2001) Some Factors That Affect the Dehulling Ability of Sunflower Achenes. In *Proceedings of the eighth International Congreso on Engineering and Food-ICEF* (pp. 971-976). Lancaster, USA.
- Finlay G.J. (2007) Genotype and Environment Impacts on Canada Western Spring Wheat Bread-making Quality and Development of Weather-based Prediction Models, Faculty of Graduate Studies (Electronic Theses and Dissertations) > FGS - Electronic Theses & Dissertations (Public) >, MSpace at the University of Manitoba >.
- Flagella Z., Giuliani M.M., Rotunno T., Di Caterina R., De Caro A. (2004) Effect of saline water on oil yield and quality of a high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrid. *European Journal of Agronomy* 21:267-272. DOI: 10.1016/j.eja.2003.09.001.
- Flagella Z., Rotunno T., Tarantino E., Di Caterina R., De Caro A. (2002) Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime. *European Journal of Agronomy* 17:221-230. DOI: 10.1016/s1161-0301(02)00012-6.
- Franchini M.C., Hernandez L.F. (2006) Las ceras en el aceite de girasol (*Helianthus annuus* L.). Su origen y desarrollo en el fruto. *Aceites y Grasas (A&G)* Tomo XIV vol 3:476-484.
- Franchini M.C., Hernandez L.F., Lindstrom L.I. (2010) Cuticle and cuticular wax development in the sunflower (*Helianthus annuus* L.) pericarp grown at the field under a moderate water deficit. *Phyton-International Journal of Experimental Botany* 79:153-161.
- Froment M.A., Smith J., Freeman K. (1999) Influence of environmental and agronomic factors contributing to increased levels of phospholipids in oil from UK linseed

- Linum usitatissimum. *Industrial Crops and Products* 10:201-207. DOI: 10.1016/s0926-6690(99)00024-2.
- Gabriel K.R. (1971) The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika* 58:453-467. DOI: 10.1093/biomet/58.3.453.
- García Ruiz J.R. (1994) Influencia varietal y ambiental en el descascarillado de las semillas de girasol. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.* 9:181-191.
- Gardner W.H., Klute A. (1986) Water content. *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*:493-544
- Geetha A., Saidaiyah P., Sivasankar A., Suresh J., Prayaga L., Anuradha G. (2012) Moisture stress induced physiological and biochemical changes associated with biomass production in sunflower genotypes. *Crop Research (Hisar)* 44:85-93.
- Gil R. (2005) Cálculo del agua edáfica y Balance hídrico del cultivo, INTA, Curso de Capacitación Profesional "El funcionamiento físico del suelo y la dinámica del agua en el sistema suelo-planta-atmósfera".
- Goksoy A.T., Demir A.O., Turan Z.M., Dagustu N. (2004) Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. *Field Crops Research* 87:167 - 178.
- González González M.J. (1995) La región en el pensamiento geográfico. *Contextos*, (25), 171-206. Departamento de Geografía e Historia de las Instituciones Económicas Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de León Campus Universitario de Vegazana. 24007 León.
- Goyne P., Simpson B.W., Woodruff D., Churchett J. (1979) Environmental influence on sunflower achene growth, oil content and oil quality. *Animal Production Science* 19:82-88.
- Grassini P., Hall A.J., Mercau J.L. (2009) Benchmarking sunflower water productivity in semiarid environments. *Field Crops Research* 110:251-262. DOI: 10.1016/j.fcr.2008.09.006.
- Gutiérrez V.M.O., Estrada J.A.E., García P.S., Chávez L.T., Clark E.M.E., Lagunas A.A.M. (2000a) Eficiencia en el uso del agua y del nitrógeno, y rendimiento del girasol, en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. *Terra* 18.1:51-59.
- Gutiérrez V.M.O., Estrada J.A.E., García P.S., Chávez L.T., Lagunas A.A.M., Román E.C. (2000b) Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. *Terra* 18.4:313-323.
- Hall A., Chimenti C., Vilella F., Freier G. (1985) Timing of water stress effects on yield components in sunflower, *Proceedings of the 11th International Sunflower Conference*. pp. 131-136.
- Hall A.J. (2004) Advances in the physiology of the sunflower crop: a ten-year progress report., In *Proc. Int. Sunflower Conf.*, 16th, Fargo, ND (Vol. 29, pp. 29-42).
- Hamama A., Bhardwaj H. (2004) Phytosterols, triterpene alcohols, and phospholipids in seed oil from white lupin. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 81:1039-1044. DOI: 10.1007/s11746-004-1019-z.
- Hatfield J.L., Sauer T.J., Prueger J.H. (2001) Managing soils to achieve greater water use efficiency: A review. *Agronomy Journal* 93:271-280.
- Hernandez L.F., Belles P.M. (2007) A 3-D finite element analysis of the sunflower (*Helianthus annuus* L.) fruit. Biomechanical approach for the improvement of its hullability. *Journal of Food Engineering* 78:861-869. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.12.003.

- Hocking P., Steer B. (1989) Effects of seed size, cotyledon removal and nitrogen stress on growth and on yield components of oilseed sunflower. *Field Crops Research* 22:59-75.
- Holland P.W. (1988) Causal inference, path analysis and recursive structural equations models. *ETS Research Report Series* 1988:i-50.
- Hou G., Ablett G., Pauls K.P., Rajcan I. (2006) Environmental effects on fatty acid levels in soybean seed oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 83:759-763. DOI: 10.1007/s11746-006-5011-4.
- IUPAC. (1992). *International Union of Pure and Applied Chemistry-Standard Methods for the Analysis of Oils, Fats and Derivates*. 7th ed., Oxford.
- Izquierdo N., Aguirrezábal L. (2008) Genetic variability in the response of fatty acid composition to minimum night temperature during grain filling in sunflower. *Field Crops Research* 106:116-125.
- Izquierdo N., Aguirrezábal L., Andrade F., Pereyra V. (2002) Night temperature affects fatty acid composition in sunflower oil depending on the hybrid and the phenological stage. *Field Crops Research* 77:115-126.
- Izquierdo N., Dosio G.A.A., Masciol S., Aguirrezábal L. (1998) Efecto de la radiación interceptada sobre componentes del rendimiento en aceite de cultivares de girasol (*Helianthus annuus* L.) de pericarpio liso y rayado, XXVI Jornadas Argentinas de Botánica, Rio IV, Cordoba, Argentina. pp. 144.
- Izquierdo N., Luján. J., Cantarero M., Rubiolo O., Aguirrezábal L. (2000) Radiación interceptada durante el llenado y componentes del rendimiento en aceite de híbridos de girasol con pericarpio estriado y negro, Jornada de Investigación. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Cordoba, Argentina.
- Izquierdo N., Mascioli S., Aguirrezábal L., Nolasco S. (2007) Temperature influence during seed filling on tocopherol concentration in a traditional sunflower hybrid. *Grasas y Aceites* 58:170-178.
- Izquierdo N.G., Aguirrezábal L.A.N., Andrade F.H., Cantarero M.G. (2006) Modeling the Response of Fatty Acid Composition to Temperature in a Traditional Sunflower Hybrid. *Agronomy Journal* 98:451. DOI: 10.2134/agronj2005.0083.
- Izquierdo N.G., Aguirrezábal L.A.N., Andrade F.H., Geroudet C., Valentinuz O., Pereyra Iraola M. (2009) Intercepted solar radiation affects oil fatty acid composition in crop species. *Field Crops Research* 114:66-74. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2009.07.007>.
- Izquierdo N.G., Dosio G.A.A., Cantarero M., Lujan J., Aguirrezabal L.A.N. (2008) Weight per grain, oil concentration, and solar radiation intercepted during grain filling in black hull and striped hull sunflower hybrids. *Crop Science* 48:688-699. DOI: 10.2135/cropsci2007.06.0339.
- Izquierdo N.G., Nolasco S., Mateo C., Santos D., Aguirrezabal L.A.N. (2011) Relationship between oil tocopherol concentration and oil weight per grain in several crop species. *Crop & Pasture Science* 62:1088-1097. DOI: 10.1071/cp11313.
- Jalilian J., Modarres-Sanavy S.A.M., Saberali S.F., Sadat-Asilan K. (2012) Effects of the combination of beneficial microbes and nitrogen on sunflower seed yields and seed quality traits under different irrigation regimes. *Field Crops Research* 127:26-34. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2011.11.001>.
- Jones O.R. (1984) Yield, water-use efficiency, and oil concentration and quality of dryland sunflower grown in the southern high plains. *Agronomy journal* 76:229-235.

- Judde A., Villeneuve P., Rossignol-Castera A., Guillou A. (2003) Antioxidant effect of soy lecithins on vegetable oil stability and their synergism with tocopherols. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 80:1209-1215. DOI: 10.1007/s11746-003-0844-4.
- Kandil A., Ibrahim A.F., Marquard R., Taha R.S. (1990) Response of Some Quality Traits of Sunflower Seeds and Oil to Different Environments. *Journal of Agronomy and Crop Science* 164:224-230. DOI: 10.1111/j.1439-037X.1990.tb00811.x.
- Khattree R., Naik D.N. (2000) Multivariate data reduction and discrimination with SAS software Sas Institute.
- Killi F. (2004) Influence of different nitrogen levels on productivity of oilseed and confection sunflowers (*Helianthus annuus* L.) under varying plant populations. *International Journal of Agriculture and Biology* 4:594-598.
- Lajara J., Diaz U., Quidiello R. (1990) Definite influence of location and climatic conditions on the fatty acid composition of sunflower seed oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 67:618-623. DOI: 10.1007/bf02540410.
- Lampi A.-M., Kamal-Eldin A. (1998) Effect of α - and γ -tocopherols on thermal polymerization of purified high-oleic sunflower triacylglycerols. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 75:1699-1703. DOI: 10.1007/s11746-998-0319-x.
- Lee Y., Song H., Piao X., Park K., Nam S., Kim I., Choi S., Jang Y., Kim H. (2010) Variation of seed characteristic, oil content and fatty acid composition in sunflower germplasm. *Korean Journal of Crop Science / Hanguk Jakmul Hakhoe Chi* 55:245-252.
- Li C.C. (1975) Path analysis-a primer The Boxwood Press ISBN 0-910286-40-X pp: ix+346.
- Lindstrom L.I., Pellegrini C.N., Aguirrezabal L., Hernandez L.F. (2006) Growth and development of sunflower fruits under shade during pre and early post-anthesis period. *Field Crops Research* 96:151-159. DOI: 10.1016/j.fcr.2005.06.006.
- Lindström L.I., Pellegrini C.N., Hernández L.F. (2007) Histological development of the sunflower fruit pericarp as affected by pre- and early post-anthesis canopy shading. *Field Crops Research* 103:229-238. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2007.06.005>.
- Loh W.-Y. (2011) Classification and regression trees. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery* 1:14-23. DOI: 10.1002/widm.8.
- López G. (2007) Proyecciones de Producción de Granos de Mediano y Largo Plazo en Argentina. Informe interno. Agritrent, Monsanto Argentina S.A.C.I.
- López G. (2013) Perspectivas del Mercado de Granos, in: M. S.A.C.I. (Ed.), Agritrent.
- Maestri D.M., Labuckas D.O., Meriles J.M., Lamarque A.L., Zygadlo J.A., Guzmán C.A. (1998) Seed composition of soybean cultivars evaluated in different environmental regions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 77:494-498. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0010(199808)77:4<494::AID-JSFA69>3.0.CO;2-B.
- Mantel N. (1967) The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer research* 27:209-220.
- Martín-Polvillo M., Márquez-Ruiz G., Dobarganes M.C. (2004) Oxidative stability of sunflower oils differing in unsaturation degree during long-term storage at room temperature. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 81:577-583. DOI: 10.1007/s11746-006-0944-1.

- Martínez-Force E., Álvarez-Ortega R., Cantisán S., Garcés R. (1998) Fatty Acid Composition in Developing High Saturated Sunflower (*Helianthus annuus*) Seeds: Maturation Changes and Temperature Effect. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46:3577-3582. DOI: 10.1021/jf980276e.
- Marwede V., Schierholt A., Möllers C., Becker H.C. (2004) Genotype× environment interactions and heritability of tocopherol contents in canola. *Crop Science* 44:728-731.
- Mascioli S. (2001) Tocoferoles y relación tocoferoles-ácido linoleico en el aceite de híbridos de girasol (*Helianthus annuus* L.) tradicional, medio y alto oleico, Efecto de variaciones en la temperatura nocturna en condiciones de campo., Licenciatura en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales., Universidad Nacional de Mar del Plata. pp. 53.
- Merrien A. (1998) Calidad de la semilla de girasol: porcentaje de aceite y composición de ácidos grasos., in: F. d. C. A. U. I. Balcarce (Ed.), *Calidad de productos agrícolas, Bases ecofisiológicas, genéticas y de manejo agronómico*, Balcarce, Buenos Aires, Argentina. pp. 192-196.
- Merrien A., Dominguez J., G.P. V., M. B., L. C., P. C. (1992) Factors affecting the dehulling ability in sunflower., in: I. S. Association (Ed.), *Proceedings of the 13th international sunflower conference*, Pisa, Italy. pp. 260-267.
- Merrien A., Quinsac A., Maisonneuve C. (1988) Variabilité de la teneur en protéines des grains de tournesol en relation avec l'état protéique foliaire, in: I. s. association (Ed.), *12th. Internacional sunflower conference*, Sad. Yugoslavia. pp. 158-169.
- Merrill L., Pike O., Ogden L., Dunn M. (2008) Oxidative Stability of Conventional and High-Oleic Vegetable Oils with Added Antioxidants. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 85:771-776. DOI: 10.1007/s11746-008-1256-4.
- Mirshekari M., Hosseini N.M., Amiril R., Zandvakili O.R. (2012) Study the effects of planting date and low irrigation stress on quantitative traits of spring sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Romanian Agricultural Research*:189-199.
- Montgomery D.C., Peck E.A. (1981) *Introduction to Linear Regression Analysis*. (Vol. 821). John Wiley & Sons New York.
- Morrison W.H. (1983) Variation in the wax content of sunflower seed with location and hybrid. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 60:1013-1014. DOI: 10.1007/bf02660219.
- Morrison W.H., III, Sojka R., Unger P. (1984) Effects of planting date and irrigation on wax content of sunflower-seed oil. *Journal of the American Oil Chemists Society* 61:1242-1245. DOI: 10.1007/bf02636262.
- Nagao A., Yamazaki M. (1983) Lipid of sunflower seeds produced in japan. *Journal of the American Oil Chemists Society* 60:1654-1658. DOI: 10.1007/BF02662426.
- Nasim W., Ahmad A., Hammad H.M., Chaudhary H.J., Munis M.F.H. (2012) Effect of nitrogen on growth and yield of sunflower under semi-arid conditions of pakistan. *Pakistan Journal of Botany* 44:639-648.
- Nel A.A. (2001) *Determinants of sunflower seed quality for processing*, Department of Plant Production and Soil Science, University of Pretoria, Faculty of Natural and Agricultural Sciences.
- Nel A.A., Loubser H.L., Hammes P.S. (2000a) The effect of environment and cultivar on sunflower seed. I. Yield, hullability and physical seed characteristics. *South African Journal of Plant and Soil* 17:133-137. DOI: 10.1080/02571862.2000.10634884.

- Nel A.A., Loubser H.L., Hammes P.S. (2000b) The effect of plant population on the quality of sunflower seed for processing. *South African Journal of Plant and Soil* 17:6-9. DOI: 10.1080/02571862.2000.10634858.
- Nel A.A., Loubser H.L., Hammes P.S. (2001) The effect of water stress during grain filling on the yield and processing quality of sunflower seed. *South African Journal of Plant and Soil* 18:114-117. DOI: 10.1080/02571862.2001.10634414.
- Neto da Silva F., Salgado Prata A., Rocha Teixeira J. (2003) Technical feasibility assessment of oleic sunflower methyl ester utilisation in Diesel bus engines. *Energy Conversion and Management* 44:2857-2878. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904\(03\)00067-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904(03)00067-0).
- Nolasco S.M., Aguirrezábal L.A.N., Crapiste G.H. (2004) Tocopherol oil concentration in field-grown sunflower is accounted for by oil weight per seed. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 81:1045-1051. DOI: 10.1007/s11746-004-1020-6.
- Nolasco S.M., Aguirrezábal L.A.N., Lúquez J., Mateo C. (2006) Variability in oil tocopherol concentration and composition of traditional and high oleic sunflower hybrids (*Helianthus annuus* L.) in the Pampean region (Argentina). *Grasas y Aceites* 57: 260-269.
- Nolasco S.M., N. A.L.A., C. M., Luquez J. (2005) Tocoferoles en el aceite de girasol. *Grasas y Aceites* 58:122-128.
- Olalde Gutierrez V.M., Escalante Estrada J.A., Sanchez Garcia P., Tijerina Chavez L., Clark E.M.E., Mastache Lagunas A.A. (2000) Eficiencia en el uso del agua y del nitrogeno, y rendimiento del girasol, en funcion del nitrogeno y densidad de poblacion en clima calido. *Terra* 18:51-59.
- Oliverio G., López G.M. (2007) La Agricultura Argentina al 2015, in: F. P. Conservando (Ed.), *La Agricultura Argentina al 2015 - XVII SEMINARIO ANUAL*, Buenos Aires.
- Onemli F. (2012) Impact of climate changes and correlations on oil fatty acids in sunflower. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* 49:455-458.
- Ozer H., Polat T., Ozturk E. (2004) Response of irrigated sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids to nitrogen fertilization: growth, yield and yield components. *Plant Soil And Environment* 50:205-211.
- Pan L.G., Campana A., Toms M.C., n M.C.A. (2000) A kinetic study of phospholipid extraction by degumming process in sunflower seed oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 77:1273-1277. DOI: 10.1007/s11746-000-0200-8.
- Peper A., S N., Tomás M., De la Vega A.J., Aguirrezába L. (2007) Hacia una diferenciación del aceite de girasol: calidad de granos y aceites en diferentes zonas de la región girasolera. 4to Congreso Argentino de Girasol ASAGIR:425 - 426.
- Pérez-Vich B., Muñoz-Ruz J., Fernández-Martínez J.M. (2004) Developing midstearic acid sunflower lines from a high stearic acid mutant. *Crop science* 44:70-75.
- Perez E., Carelli A., Crapiste G. (2004) Chemical characterization of oils and meals from wild sunflower (*helianthus petiolaris* nutt). *Journal of the American Oil Chemists' Society* 81:245-249. DOI: 10.1007/s11746-004-0890-y.
- Petcu E., Băbeanu N., Popa O., Partal E., Pricop S.M. (2010) Effect of planting date, plant population and genotype on oil content and fatty acid composition in sunflower. *Romanian Agricultural Research* 27:53-57.

- Peterson D.M., Wesenberg D.M., Burrup D.E., Erickson C.A. (2005) Relationships among Agronomic Traits and Grain Composition in Oat Genotypes Grown in Different Environments. *Crop Science* 45:1249. DOI: 10.2135/cropsci2004.0063.
- Primomo V.S., Falk D.E., Ablett G.R., Tanner J.W., Rajcan I. (2002) Genotype× environment interactions, stability, and agronomic performance of soybean with altered fatty acid profiles. *Crop science* 42:37-44.
- Pritchard F., Eagles H., Norton R., Salisbury P., Nicolas M. (2000) Environmental effects on seed composition of Victorian canola. *Animal Production Science* 40:679-685.
- Quiroz F., Pereyra V., Aguirrezábal L. (2000) Jornada anual de actualización profesional, in: I. CIC, INTA Balcarce, Facultad de Ciencias Agrarias (Ed.), Jornada anual de actualización profesional 17° Edición, CONICET, Mar del Plata, Buenos Aires.
- Radford B., Nielsen R. (1982) Winter sown sunflowers on the Darling Downs, Queensland. *Queensland Journal of Agricultural and Animal Sciences* 39.
- Rahamatalla A., Babiker E., Krishna A., Tinay A.E. (2001) Changes in fatty acids composition during seed growth and physicochemical characteristics of oil extracted from four safflower cultivars. *Plant Foods for Human Nutrition* 56:385-395.
- Rauf S. (2008) Breeding sunflower (*Helianthus annuus* L.) for drought tolerance. *Crop Sci.* 3:29-44.
- Rebetzke G.J., Pantalone V.R., Burton J.W., Carver B.F., Wilson R.F. (1996) Phenotypic variation for saturated fatty acid content in soybean. *Euphytica* 91:289-295. DOI: 10.1007/BF00033090.
- Reynolds M.P., Trethowan R., Crossa J., Vargas M., Sayre K.D. (2004) “Physiological factors associated with genotype by environment interaction in wheat”. *Field Crops Research* 85:253-274. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00057-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00057-1).
- Rharrabti Y., García del Moral L.F., Villegas D., Royo C. (2003) Durum wheat quality in Mediterranean environments: III. Stability and comparative methods in analysing G×E interaction. *Field Crops Research* 80:141-146. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00178-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00178-8).
- Riccobene I.C., Fernández M.B., Nolasco S.M. (2001) “Efecto de la humedad de la semilla en la aptitud al descascarado de frutos de girasol”. *Información Tecnológica Revista Internacional CIT* 12 3 - 8.
- Roath W.W., T.L S., J.F. M. (1985) Variability in Decortifications of Sunflower Achenes and Correlations with Associated Achene Characters, in: I. S. Association (Ed.), 11th International Sunflower Conference, . Mar del Plata.
- Robertson J.A., Chapman G.W., Wilson R.L. (1978) Relation of days after flowering to chemical composition and physiological maturity of sunflower seed. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 55:266-269. DOI: 10.1007/bf02676938.
- Robertson J.A., Green V.E. (1981) Effect of planting date on sunflower seed oil content, fatty acid composition and yield in Florida. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 58:698-701. DOI: 10.1007/BF02899453.
- Robertson J.A., Morrison W.H. (1979) Analysis of oil content of sunflower seed by wide-line NMR. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 56:961-964. DOI: 10.1007/BF02674143.
- Robutti J.L., Oliva C., Pineiro A., Chiocarello C. (1970) Composición de ácidos grasos en aceites de girasol de diferentes variedades y regiones INTA.

- Roche J., Bouniols A., Mouloungui Z., Barranco T., Cerny M. (2006) Management of environmental crop conditions to produce useful sunflower oil components. *European journal of lipid science and technology* 108:287-297.
- Rohlf F.J. (1998) Numerical taxonomy and multivariate analysis system (version 2.0f). Exeter Software Publishers Ltd, Setauket, New York.
- Rondanini D., Mantese A., Savin R., Hall A.J. (2006) Responses of sunflower yield and grain quality to alternating day/night high temperature regimes during grain filling: Effects of timing, duration and intensity of exposure to stress. *Field Crops Research* 96:48-62. DOI: 10.1016/j.fcr.2005.05.006.
- Rondanini D., Savin R., Hall A.J. (2003) Dynamics of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to brief intervals of high temperature during grain filling. *Field Crops Research* 83:79-90. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00064-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00064-9).
- Rondanini D.P., Mantese A.I., Savin R., Hall A.J. (2009) Water content dynamics of achene, pericarp and embryo in sunflower: Associations with achene potential size and dry-down. *European Journal of Agronomy* 30:53-62. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2008.07.002>.
- Roth I. (1977) Fruits of angiosperms. encyclopedia of plant anatomy. Gebrüder Borntraeger, Berlin, 10.
- Ruiz R.A., Maddonni G.A. (2006) Sunflower Seed Weight and Oil Concentration under Different Post-Flowering Source-Sink Ratios. *Crop Sci.* 46:671-680. DOI: 10.2135/cropsci2005.06-0139.
- SAS Institute Inc. 2012. Using JMP 10. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Saadoun A. (2010) Los ácidos grasos como indicadores de la calidad de los productos animales: una apuesta para el futuro. *Agrociencia* 14:65-66.
- Sadras V.O., Ferreyro M., Guthein F., Kantolic A.G. (2002) Desarrollo Fenológico y su respuesta a temperatura y fotoperíodo., in: E. I. B. F. UNMP (Ed.), Bases Para el manejo del maíz, el girasol y la soja. pp. 25-56
- Sadras V.O., Hall A.J. (1988) Quantification of temperature, photoperiod and population effects on plant leaf area in sunflower crops. *Field Crops Research* 18:185-196. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0378-4290\(88\)90008-1](http://dx.doi.org/10.1016/0378-4290(88)90008-1).
- Salas J.J., Martínez-Force E., Garcés R. (2006) Phospholipid molecular profiles in the seed kernel from different sunflower (*Helianthus annuus*) mutants. *Lipids* 41:805-811.
- Santalla E., Riccobene C., Nolasco S.M. (1993) Composición de semillas de girasol cultivadas en Argentina. *Aceites y Grasas (A&G)* 44:175-178.
- Santalla G., Riccobene I., Aguirrezabal L., Nolasco S. (1995) Influencia de la radiación interceptada durante el llenado de los fruto III. Variaciones de la composición ácida dentro del capítulo, Congreso. Nacional de Soja, 1st, and Congreso. Nacional de Oleaginosos, 2nd, Asociación Ingenieros Agrónomos Norte Buenos Aires, Pergamino, Pergamino, Argentina. pp. 15-22.
- Scheiner J.D., Gutierrez-Boem F.H., Lavado R.S. (2002) Sunflower nitrogen requirement and N-15 fertilizer recovery in Western Pampas, Argentina. *European Journal of Agronomy* 17:73-79. DOI: 10.1016/s1161-0301(01)00147-2.
- Schneider A.A., Miller J.F. (1981) Description of Sunflower Growth Stages1. *Crop Sci.* 21:901-903. DOI: 10.2135/cropsci1981.0011183X002100060024x.
- Seassau C., Dechamp-Guillaume G., Mestries E., Debaeke P. (2010) Nitrogen and water management can limit premature ripening of sunflower induced by Phoma

- macdonaldii. *Field Crops Research* 115:99-106. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2009.10.009>.
- Sezen S.M., Yazar A., Tekin S. (2011) Effects of partial root zone drying and deficit irrigation on yield and oil quality of sunflower in a mediterranean environment. *Irrigation and Drainage* 60:499-508. DOI: 10.1002/ird.607.
- Sharma D., Dharminder P., Atwal A.K., Sangha M.K. (2009) Genetic variation for some chemical and biochemical characteristics in cotton seed oil. *Journal of Cotton Research and Development* 23:1-7.
- Sims J.T. (2000) Soil test phosphorus: Bray and Kurtz P-1. *Methods of phosphorus analysis for soils, sediments, residuals, and waters*. Bull 369:13-14.
- Skarpa P., Losak T. (2008) Changes in selected production parameters and fatty acid composition of sunflower (*Helianthus annuus*, L.) in response to nitrogen and phosphorus applications. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 56:203-210.
- Smith C.W., Creelman R.A. (2001) Vitamin E concentration in upland cotton seeds. *Crop science* 41:577-579.
- Sneath P.H.A., Sokal R.R. (1973) *Numerical Taxonomy: The principles and practice of numerical classification*.
- Sobrinho E., Tarquis A.M., Díaz M.C. 2003. Modeling the oleic acid content in sunflower oil. *Agron. J.* 95: 329-334
- Speybroeck N. (2012) Classification and regression trees. *International Journal of Public Health* 57:243-246. DOI: 10.1007/s00038-011-0315-z.
- Spomer G. (1973) The concepts of "interaction" and "operational environment" in environmental analyses. *Ecology* 54.1: 200-204.
- Steel R.G.D., Torrie J.H. (1960) *Principles and procedures of statistics. Principles and procedures of statistics*.
- Steer B.T., Coaldrake P.D., Pearson C.J., Canty C.P. (1986) Effects of nitrogen supply and population density on plant development and yield components of irrigated sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Field Crops Research* 13:99-115. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0378-4290\(86\)90014-6](http://dx.doi.org/10.1016/0378-4290(86)90014-6).
- Steer B.T., Seiler G.J. (1990) Changes in fatty acid composition of sunflower (*Helianthus annuus*) seeds in response to time of nitrogen application, supply rates and defoliation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 51:11-26.
- Thomaz G.L., Zagonel J., Colasante L.O., Nogueira R.R. (2012) Yield of sunflower and oil seed content as a function of air temperature, rainfall and solar radiation. *Ciencia Rural* 42:1380-1385.
- Tous J., Romero A. (1993) Cultivar and location effects on olive oil quality in Catalonia, Spain, II International Symposium on Olive Growing 356. pp. 323-326.
- Tremolieres A., Dubacq J., Drapier D. (1982) Unsaturated fatty acids in maturing seeds of sunflower and rape: regulation by temperature and light intensity. *Phytochemistry* 21:41-45.
- Triki S., Ben Hamida J., Mazliak P. (1997) Study of the metabolism of lipid reserves in ripening sunflower seeds: a tracing experiment with 1-C-14 acetate. *Ocl-Oleagineux Corps Gras Lipides* 4:451-458.
- Unger P., Thomson J. (1982) Planting date effect on sunflower head and seed development. *Agronomy Journal* 74:389-395.
- Unger P.W. (1980) Planting date effects on growth, yield, and oil of irrigated sunflower. *Agronomy Journal* 72:914-916.

- Unger P.W. (1986) Growth and development of irrigated sunflower in the Texas high plains. *Agronomy journal* 78:507-515.
- Van der Merwe R. (2010) Genotype by environment interaction for oil quality in high oleic acid sunflower lines (Doctoral dissertation), University of the Free State Bloemfontein South Africa. Pp:283
- Vargas M., Crossa J., van Eeuwijk F., Sayre K.D., Reynolds M.P. (2001) Interpreting Treatment \times Environment Interaction in Agronomy Trials. *Agron. J.* 93:949-960. DOI: 10.2134/agronj2001.934949x
- Velasco L., Fernández-Martínez J.M. (2012) Environmental Stability of Contrasting Seed Tocopherol Profiles in Sunflower. *Crop Sci.* 52:2446-2452. DOI: 10.2135/cropsci2012.03.0185.
- Velasco L., Fernandez-Martinez J.M., Garcia-Ruiz R., Dominguez J. (2002) Genetic and environmental variation for tocopherol content and composition in sunflower commercial hybrids. *Journal of Agricultural Science* 139:425-429. DOI: 10.1017/s0021859602002678.
- Vilar M.M., Hernández J.V., Lozano F.E., Valdivia D.G.F., Romero M.V.M. (2007) Evolución histórica de la calidad de los aceites de oliva y su relación con los procesos de obtención, I Congreso de la Cultura del Olivo, Instituto de Estudios Giennenses. pp. 647-662.
- Vlahakis C., Hazebrook J. (2000) Phytosterol accumulation in canola, sunflower, and soybean oils: effects of genetics, planting location, and temperature. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 77:49-53.
- Walkley A., Black I. (1974) A critical examination of rapid method for determining organic carbon in soils. *Soil. Sci.* 63:251-254.
- Werteker M., Mechtler K., Hendler M. (2011) Effects of temperature on quality and yield of oil crops, Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irdning. pp. 115-117.
- Wiles P.G., Gray I.K., Kissling R.C. (1997) Routine analysis of proteins by Kjeldahl and Dumas methods: review and interlaboratory study using dairy products. *Journal of AOAC International* 81:620-632.
- Zhang X., Schmidt R.E. (2000) Hormone-Containing Products' Impact on Antioxidant Status of Tall Fescue and Creeping Bentgrass Subjected to Drought. *Crop Science Society of America* 40:1344 - 1349.
- Zheljaskov V.D., Vick B.A., Baldwin B.S., Buehring N., Astatkie T., Johnson B. (2009) Oil Content and Saturated Fatty Acids in Sunflower as a Function of Planting Date, Nitrogen Rate, and Hybrid. *Agronomy Journal* 101:1003-1011. DOI: 10.2134/agronj2009.0011.
- Zimmer D.E., Zimmerman D.C. (1972) Influence of Some Diseases on Achene and Oil Quality of Sunflower1. *Crop Sci.* 12:859-861. DOI: 10.2135/cropsci1972.0011183X001200060043x.
- Zlatanov M.D., Angelova-Romova M.J., Antova G.A., Dimitrova R.D., Momchilova S.M., Nikolova-Damyanova B. (2009) Variations in Fatty Acids, Phospholipids and Sterols During the Seed Development of a High Oleic Sunflower Variety. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 86:867-875. DOI: 10.1007/s11746-009-1425-0.
- Zuil S., Izquierdo N., Luján J., Cantarero M., Aguirrezábal L. (2012) Oil quality of maize and soybean genotypes with increased oleic acid percentage as affected by intercepted solar radiation and temperature. *Field Crops Research* 127:203-214.

Calidad de aquenios y aceite de girasol: Efectos del genotipo, del ambiente y su interacción, y su relación con el rendimiento del cultivo y sus componentes.

ANEXO I

Anexo I

Capítulo 2: MATERIALES Y MÉTODOS

Tabla A2.1: Evaluación de la variabilidad intra localidad (block): Análisis de la varianza, por el método REML para el efecto de repeticiones dentro de localidades. **CV(%)**: Coeficiente de variación. **% Var Total**: porcentaje de la variabilidad total explicado por cada efecto/fuente de variación. **Var ratio**: es la razón entre el valor estimado del componente de varianza de cada efecto sobre el correspondiente al residual

	Rendimiento granos (kg.ha ⁻¹)		Aceite (%)		Peso de granos (PG)		Número de granos (NG)		NGP		Aceite×grano (gr)	
Localidades	Promedio	CV (%)	Promedio	CV (%)	Promedio	CV (%)	Promedio	CV (%)	Promedio	CV (%)	Promedio	CV (%)
Promedio General	2763	6,11	52,38	1,01	50,58	4,11	5545	6,52	1145	7,92	26,41	3,71
Fuente	%Var Total	Var ratio	%Var Total	Var ratio	%Var Total	Var ratio	%Var Total	Var ratio	%Var Total	Var ratio	%Var Total	Var ratio
localidad	89,75	8,818	93,52	14,465	79,41	3,857	93,72	15,024	77,10	3,367	68,17	2,142
repetición	0,07	0,007	0,01	0,002	0,00	0,110	0,05	0,007	0,00	0,109	0,00	0,104

	Proteínas (%)		Cenizas (%)		Carbo Hidratos (%)		Cascara (%)		Apt. Desc. (%)		%Prot/%Aceite	
Localidades	Promedio	CV (%)	Promedio	CV (%)	Promedio	CV (%)	Promedio	CV (%)	Promedio	CV (%)	Promedio	CV (%)
Promedio General	16,46	4,58	3,16	2,40	28,00	2,65	21,56	5,49	23,29	12,20	0,32	5,00
Fuente	%Var Total	Var ratio	%Var Total	Var ratio	%Var Total	Var ratio	%Var Total	Var ratio	%Var Total	Var ratio	%Var Total	Var ratio
localidad	84,30	5,368	93,76	15,028	77,14	3,374	18,39	0,246	84,13	6,013	88,23	7,497
repetición	0,00	0,107	0,00	0,109	0,00	0,078	7,02	0,094	1,88	0,134	0,00	0,098

	Estearico (%)		Palmitico (%)		Miristico (%)		Oleico (%)		Linoleico (%)		Linolenico (%)	
Localidades	Promedio	CV (%)	Promedio	CV (%)	Promedio	CV (%)	Promedio	CV (%)	Promedio	CV (%)	Promedio	CV (%)
Promedio General	3,58	11,56	6,58	2,79	0,08	6,70	26,66	3,97	63,03	1,64	0,07	15,28
Fuente	%Var Total	Var ratio	%Var Total	Var ratio	%Var Total	Var ratio	%Var Total	Var ratio	%Var Total	Var ratio	%Var Total	Var ratio
localidad	6,78	0,073	86,29	6,464	83,58	5,089	99,13	113,37	98,90	89,850	84,84	5,594
repetición	0,00	0,050	0,36	0,027	0,00	0,017	0,00	0,073	0,00	0,057	0,00	0,097

Capítulo 3: Selección de agrupaciones de ambientes y análisis del efecto de las variables ambientales sobre el rendimiento en aceite, peso y número de aquenios

Tabla A3.1: Valores medios, mediana, desvío estándar (D.E.), mínimos (Min) y máximos (Max) del rendimiento y sus componentes, y de las características de aceite y frutos estudiadas. n= número de observaciones.

Grupos	Variable	n	Media	Mediana	D.E.	Mín	Máx
Rendimiento	Rendimiento granos (kg.ha ⁻¹)	55	2813	2933	615	1647	3808
	rendimiento aceite (kg.ha ⁻¹)	55	1367	1352	351,94	665	1955
	peso de mil granos (gr)	55	52,66	51,19	8,44	39,98	75,75
	número de granos por m2	55	5489	5760	1466	2408	8512
	número de granos por planta	55	1235	1189	301,85	602	1892
Cáscara	cáscara (%)	55	27,11	27,7	3,22	19,8	32,35
	Cáscara (mg)	55	14,27	13,63	2,87	9,81	20,77
	aptitud al descascarado (%)	55	34,98	33,7	12,3	13,85	61,63
Composición centesimal	aceite por grano total (mg*grano ⁻¹)	55	25,39	25,43	4,21	17,7	33,83
	Aceite (%)	55	48,27	47,83	3,58	40,37	57,36
	proteínas (%)	55	16,5	16,72	2,66	11,49	22,72
	Proteínas/aceite	55	0,34	0,325	0,06	0,226	0,524
	carbohidratos (%)	55	32,15	32,51	3,94	21,5	38,99
	cenizas (%)	55	3,08	3,06	0,44	2,21	4,09
Componentes menores del aceite	ceras en aceite (mg.kg aceite ⁻¹)	55	973	976	148	653	1355
	ceras/grano (mg*grano ⁻¹)	55	0,02	0,02	4,70E-03	0,01	0,03
	tocoferoles en granos (mg)	55	16,96	16,97	2,00E+00	11,8	21,75
	a-tocoferol (mg.kg aceite ⁻¹)	55	677	680	114	463	877
	b-tocoferol (mg.kg aceite ⁻¹)	55	5,44	4,57	3,84	0	19
	tocoferoles (mg.kg aceite ⁻¹)	55	683	689	117	464	883
	fosfolípidos (% de masa)	55	0,12	0,11	0,1	0,01	0,41
	L- a – fosfatidiletanolamina (%)	55	28,52	27,26	7,8	13,21	49,74
	L- a – fosfatidato sódico (%)	55	45,23	44,11	10,02	27,44	67,31
	L- a – fosfatidilinositol (%)	55	9,94	8,26	5,41	3,98	32,25
	L- a – fosfatidilcolina (%)	55	16,31	16,19	5,09	1,9	28,28
Composición ácida Estabilidad oxidativa	estabilidad oxidativa (h)	55	17,11	16,3	2,76	13,07	22
	índice de Iodo	55	127	130	8,44	107	139
	estearico (%)	55	4,08	4,14	0,367	2,9	5,08
	palmitico (%)	55	6,28	6,22	0,518	5,28	7,28
	mirístico (%)	55	0,09	0,09	0,01	0,05	0,11
	oleico (%)	55	31,92	28,18	10,4	17,39	56,65
	linoleico (%)	55	57,55	60,7	9,97	33,7	71,66
	linolenico (%)	55	0,07	0,07	0,03	0,006	0,129
	ácidos saturados (%)	55	10,45	10,53	0,822	8,45	11,94
	mono insaturados/poli insaturados	55	0,62	0,472	0,373	0,234	1,71

Tabla A3 2: Valores medios para rendimiento y sus componentes y para las características de cultivo y ambientales correspondientes a cada región agroecológica. Para cada variable letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre regiones. Las variables climáticas fueron estimadas para el período EME-R9. Variables sin letras no difieren significativamente. Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Variables	NEA	OESTE	SUR
Rendimiento granos ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	2060 B	2894 A	3049 A
rendimiento aceite ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	926 B	1452 A	1476 A
número de granos por m^2	3282 C	5285 B	6534 A
peso de mil granos (g)	63,17 A	54,79 B	46,75 C
Aceite (%)	44,79 C	50,10 A	48,20 B
T °C med	23,43 A	21,00 B	19,47 B
T °C min	19,99 A	14,13 B	12,68 B
PAR ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$)	10,85	10,49	10,84
CQ ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)	0,97 C	1,04 B	1,16 A
HR (%)	64,89 B	66,98 AB	74,37 A
ETC Acum (mm)	372	458	387
Lluvia Efectiva (mm)	276	324	206
Agua Útil Disponible (mm)	77 B	112 A	113 A
%MO del suelo	1,94 B	1,78 B	5,13 A
N ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	16,70 B	40,73 AB	65,52 A

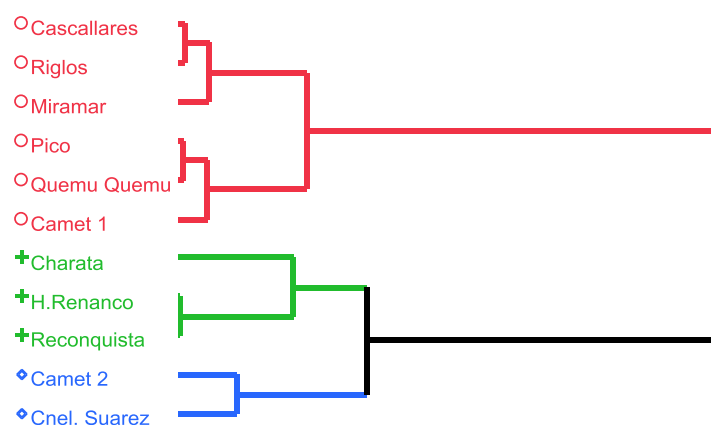


Figura A 3.1: Representación gráfica del análisis de clasificación de localidades por el índice de productividad media. Correlación cofenética=0.782. Colores diferentes identifican a las localidades incluidas en cada grupo. Verde: Bajo, Azul: medio, Rojo: Alto.

Tabla A3.3: Valores medios para rendimiento y sus componentes y para las características de cultivo y ambientales correspondientes a cada grupo de localidades aglomeradas por el criterio de índice de productividad. Las variables climáticas fueron estimadas para el período EME-R9. Para cada variable letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre grupos. Variables sin letras no difieren significativamente. Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Variables	Alto	Medio	Bajo
Rendimiento granos ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	3251 A	2653 B	2044 C
rendimiento aceite ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	1607 A	1250 B	967 C
número de granos por m^2	6309 A	5958 A	3534 B
peso de mil granos (g)	51,99 B	44,88 C	59,18 A
Aceite (%)	49,25	47,20	47,04
T °C med- EME R9	20,24 B	19,59 B	22,52 A
T °C min- EME R9	13,23 B	13,00 B	18,17 A
PAR ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$)	10,86	10,52	10,54
CQ ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)	1,12 A	1,12 A	0,98 B
HR (%)	70,77 A	75,47 A	64,68 B
ETC Acum (mm)	437	349	398
Lluvia Efectiva (mm)	249	191	334
Agua Útil Disponible (mm)	122	98	80
%MO del suelo	3,49	4,89	1,98
N ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	46,05 B	62,95 A	40,57 B

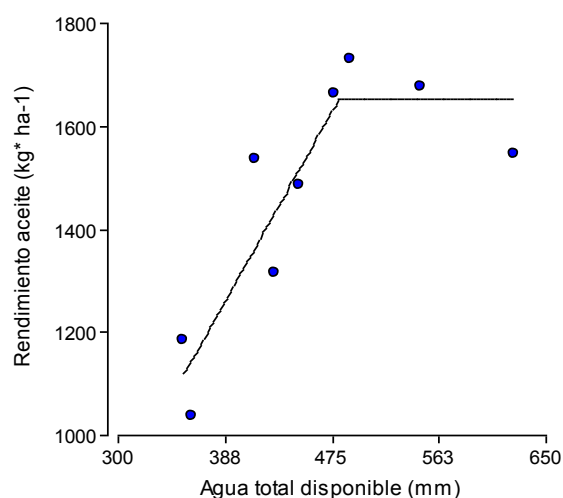


Figura A 3.2: Relación entre agua disponible total (x) durante el período EME-R9 con rendimiento en aceite. Rendimiento en aceite = $\alpha + (\beta_1 \cdot \text{AGUA}) \cdot (\text{AGUA} < \gamma) + (\beta_1 \cdot \gamma) \cdot (\text{AGUA} \geq \gamma)$. $\alpha = -373,31$, $p = 0,423$; $\beta_1 = 4,22$, $p = 0,0068$; $\gamma = 479,9$, $p < 0,0001$.

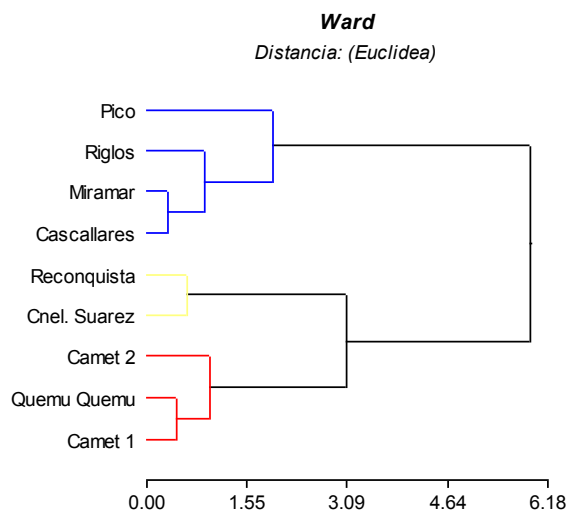


Figura A 3.3: Representación gráfica del análisis de clúster de localidades en función del agua útil total disponible. Correlación cofenética: 0.646. Colores diferentes identifican a las localidades incluidas en cada grupo. Azul: alto; Rojo: medio; Amarillo: bajo.

Tabla A3.4: Valores medios para rendimiento y sus componentes y para las características de cultivo y ambientales correspondientes a cada grupo de localidades aglomeradas por el criterio de agua total disponible durante el ciclo del cultivo. Las variables climáticas fueron estimadas para el período EME-R9. Para cada variable letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre grupos. Variables sin letras no difieren significativamente. Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Variables	Agua total disponible	
	Alta >480 mm	Baja < 480 mm
Rendimiento granos ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	3307 A	2775 B
rendimiento aceite ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	1655 A	1312 B
número de granos por m^2	6360 A	5555 B
peso de mil granos (g)	51,90	52,11
Aceite (%)	49,77	47,19
T °C med- EME R9	20,00	20,44
T °C min- EME R9	12,80	13,89
PAR ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$)	10,80	10,60
CQ ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)	1,13	1,08
HR (%)	69,36	72,42
ETC Acum (mm)	462 A	373 B
Lluvia Efectiva (mm)	296	206
Agua Útil Disponible (mm)	239,00	195,00
Agua total disponible (mm)	535,00 A	400,00 B
EUA ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$)	7,21	7,45
EUA-PP ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$)	6,28	6,92
%MO del suelo	3,22	3,95
N ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	42,15	49,72

Tabla A3.5: Valores medios para rendimiento y sus componentes y para las características de cultivo y ambientales correspondientes a cada grupo de localidades aglomeradas por el criterio de evapotranspiración durante el ciclo del cultivo. Las variables climáticas fueron estimadas para el período EME-R9. Para cada variable letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0,05$) entre grupos. Variables sin letras no difieren significativamente. Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Características	Evapotranspiración (ETC)	
	Ordenada =-664	Ordenada=-902
Rendimiento granos ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	3070	2505
rendimiento aceite ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	1486	1225
número de granos por m^2	6306 A	4508 B
peso de mil granos (g)	49,17	56,85
Aceite (%)	48,26	48,28
T °C med- EME R9	13,01 B	16,37 A
T °C min- EME R9	19,88	21,79
PAR ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$)	10,86	10,53
CQ ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)	1,14 A	1,01 B
HR (%) - EME R9	72,97	66,35
ETC Acum (mm)	387	438
Lluvia Efectiva (mm)	202 B	333 A
Agua Útil Disponible (mm)	233	178
Agua total (mm)	435	510
EUA ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$)	3,82 A	3,04 B
EUA-PP ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$)	3,41 A	2,81 B
%MO del suelo	4,53 A	1,90 B
N ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	58,82	34,2

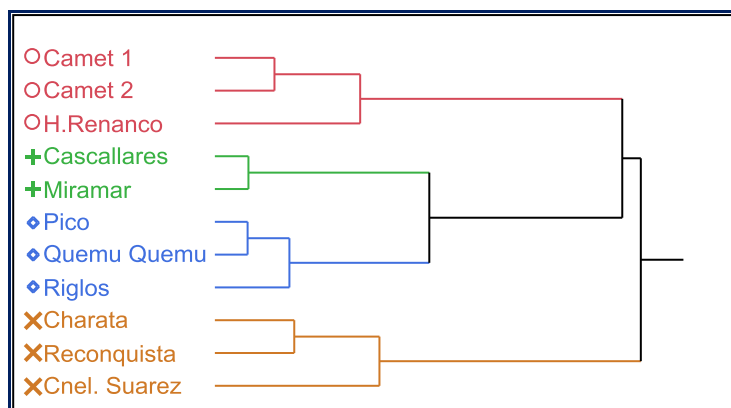


Figura A 3.4: Representación gráfica del análisis de clasificación de localidades en función del contenido inicial de nitrógeno y rendimiento en aceite Correlación cofenética: 0.627. Colores diferentes identifican a las localidades incluidas en cada grupo. Rojo: alto N; Verde: optimo N. Azul: bajo N; ocre: otros factores

Tabla A3.6: Valores medios para rendimiento y sus componentes y para las características de cultivo y ambientales correspondientes a cada grupo de localidades aglomeradas por el criterio del rendimiento medio y nitrógeno inicial disponible. Las variables climáticas fueron estimadas para el período EME-R9. Para cada variable letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los grupos. Variables sin letras no difieren significativamente. Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Características	Grupos por nitrógeno				
	alto N	optimo N	bajo N	Otros factores	
Rendimiento granos ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	2644 AB	3417 A	3188 A	2204	B
rendimiento aceite ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	1283 BC	1697 A	1587 AB	1012	C
número de granos por m^2	5817 AB	6752 A	5700 AB	4107	B
peso de mil granos (g)	46,76 B	50,46 A	55,99 A	56,70	A
Aceite (%)	48,75 AB	49,40 A	49,62 A	45,69	B
T °C med- EME R9	19,88	19,33	21,09	22,21	
T °C min- EME R9	13,86 B	11,93 B	13,99 B	17,49	A
PAR ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$)	10,50	11,08	10,67	10,72	
CQ ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)	1,10 AB	1,19 A	1,05 AB	1,01	B
HR (%)	75,71	69,86	67,89	66,35	
ETC Acum (mm)	397 AB	427 AB	462 A	360	B
Lluvia Efectiva (mm)	234	260	282	270	
Agua Útil Disponible (mm)	234	224	245	100	
Agua total disponible (mm)	468 AB	484 AB	528 A	370	B
EUA ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$)	6,81	8,00	7,00	6,14	
%MO del suelo	5,09 A	4,65 AB	1,69 B	2,35	AB
N ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	141,30 A	117,25 B	82,47 C	83,90	C
EUN ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{N}^{-1}$)	18,79 C	29,18 B	38,77 A	26,60	B
hojas verdes R7 (%)	0,31 B	0,65 A	0,54 A	0,39	B
número hojas verdes R5.5	16,50 A	14,72 B	15,53 AB	18,20	A
altura planta (m)	1,54 B	1,85 A	1,77 AB	1,68	AB

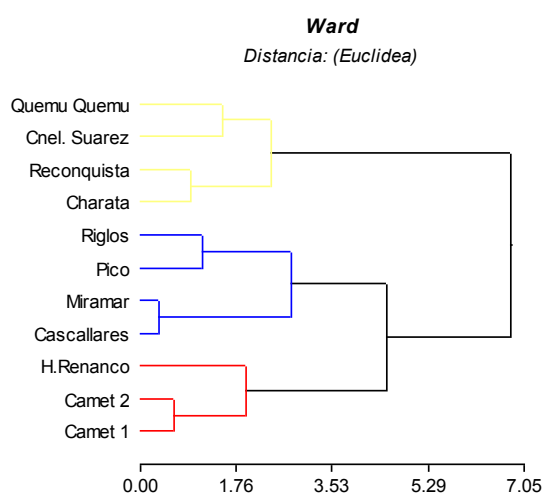


Figura A 3.5: Representación gráfica del análisis de clasificación de localidades en función del contenido inicial de nitrógeno, agua útil total y rendimiento en aceite. Correlación cofenética: 0.671. Colores diferentes identifican a las localidades incluidas en cada grupo. Azul: alto N; Rojo: Medio; Amarillo: bajo.

Tabla A3.7: Valores medios para rendimiento y sus componentes y para las características de cultivo y ambientales correspondientes a cada grupo de localidades aglomeradas por el criterio del rendimiento medio, del nitrógeno inicial disponible y del agua útil disponible. Las variables climáticas fueron estimadas para el período EME-R9. Para cada variable letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los grupos. Variables sin letras no difieren significativamente. Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Características	Rendimiento + nitrógeno + agua					
	Bajo		Medio		Alto	
Rendimiento granos ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	2446	B	2644	AB	3307	A
rendimiento aceite ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	1143	B	1283	AB	1655	A
número de granos por m^2	4371	B	5817	AB	6360	A
peso de mil granos (g)	57,84	A	46,76	C	51,90	B
Aceite (%)	46,41	B	48,75	AB	49,77	A
T °C med- EME R9	22,14		19,88		20,00	
T °C min- EME R9	16,78		13,86		12,80	
PAR ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$)	10,79		10,50		10,80	
CQ ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)	1,02		1,10		1,13	
HR (%)	66,25	B	75,71	A	69,36	AB
ETC Acum (mm)	368	B	397	AB	462	A
Lluvia Efectiva (mm)	249		234		296	
Agua total (mm)	380	B	468	AB	535	A
EUA ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$)	3,10		3,29		3,61	
EUA-PP ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$)	3,01		2,79		3,14	
%MO del suelo	2,14		5,09		3,22	
N ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	26,05	B	83,70	A	42,15	B
EUN ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{N}^{-1}$)	29,24	A	18,71	B	33,15	A
altura planta (m)	1,73	AB	1,54	B	1,83	A
hojas verdes R7 (%)	42%	AB	30%	B	61%	A

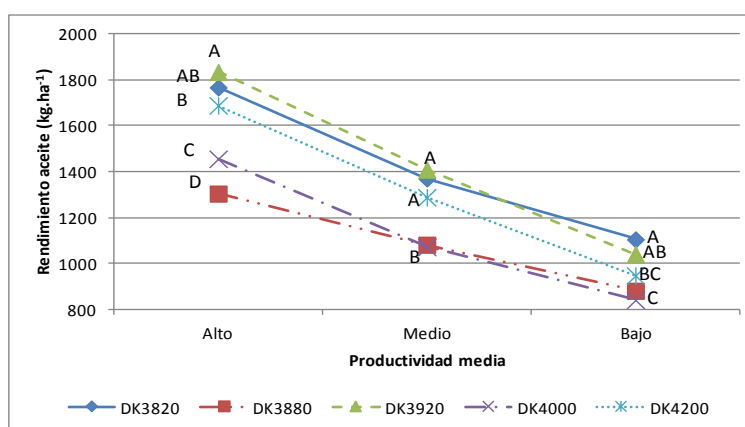


Figura A 3.6: Representación gráfica del análisis de comparación de medias de los cultivares para rendimiento en aceite, para cada grupo dentro de la agrupación por el criterio de productividad media. Los símbolos representan el valor medio de cada cultivar en cada grupo. Las líneas que unen los valores medios son referenciales. Letras diferentes, dentro de cada nivel de productividad media, representan diferencias significativas ($p < 0,05$) según el test de Tukey.

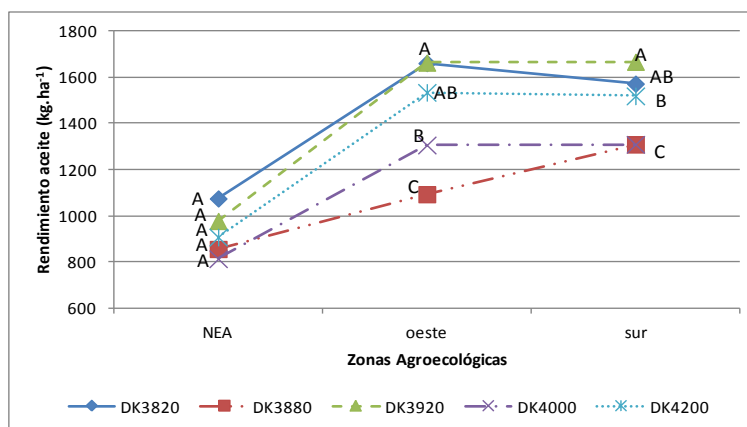


Figura A 3.7: Representación gráfica del análisis de comparación de medias de los cultivares para rendimiento en aceite, para cada grupo dentro de la agrupación por el criterio de zonas agroecológicas. Los símbolos representan el valor medio de cada cultivar en cada grupo. Las líneas que unen los valores medios son referenciales. Letras diferentes, dentro de cada nivel de zona agroecológica, representan diferencias significativas ($p < 0,05$) según el test de Tukey.

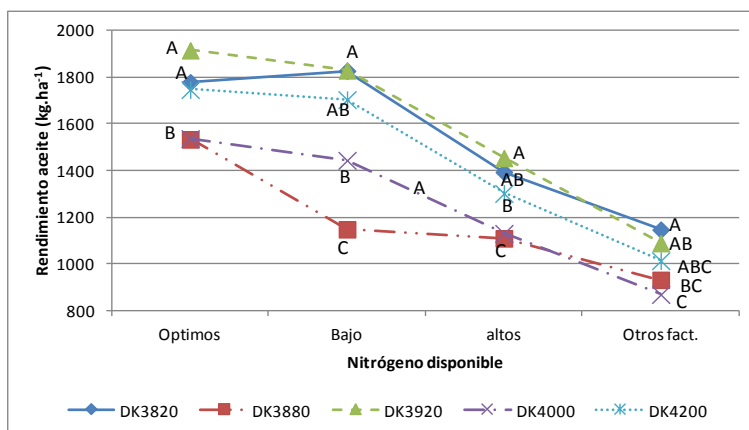


Figura A 3.8: Representación gráfica del análisis de comparación de medias de los cultivares para rendimiento en aceite, para cada grupo dentro de la agrupación por el criterio de nitrógeno inicial disponible. Los símbolos representan el valor medio de cada cultivar en cada grupo. Las líneas que unen los valores medios son referenciales. Letras diferentes, dentro de cada nivel de nitrógeno inicial, representan diferencias significativas ($p < 0,05$) según el test de Tukey.

Tabla A3. 8: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total del número de granos en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas, determinada por el método de análisis de regresión multivariada. % SC modelo: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales explicado por el modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación positiva (+) o negativa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Número de granos											
Etapas	Efecto Principal	%SC Modelo	Genotipo	T °C min	PAR (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)	HR (%)	Agua Útil Disponible (mm)	Genotipo×T °C min	Genotipo×PAR	Genotipo×HR	Genotipo× Agua Útil Disponible (mm)
EME-R9	Efecto			-	+	+					
	% SC Prob F>	94,68	10,22	57,86	18,98	5,07	0,82	1,19	0,11	0,19	0,24
R1-R5	Efecto			-	+	+					
	% SC Prob F>	87,92	12,34	51,33	17,74	2,82	0,75	1,54	0,23	0,54	0,65
R5-15+20	Efecto			-	+	+					
	% SC Prob F>	87,40	9,48	59,54	3,80	11,34	1,23	1,18	0,05	0,51	0,25
R5+100	Efecto			-	+	+					
	% SC Prob F>	83,84	8,82	59,67	0,23	2,78	10,67	1,23	0,13	0,22	0,09
R5 200	Efecto			-	+	+					
	% SC Prob F>	79,30	9,12	57,56	0,38	7,68	3,22	0,93	0,17	0,16	0,09

Tabla A3.9: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total del peso de granos en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas, determinada por el método de análisis de regresión multivariada. % SC modelo: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales explicado por el modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación positiva (+) o negativa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Peso de granos											
Etapas	Efecto Principal	%SC Modelo	Genotipo	T °C min	PAR (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)	HR (%)	Agua Útil Disponible (mm)	Genotipo×T °C min	Genotipo×PAR	Genotipo×HR	Genotipo× Agua Útil Disponible (mm)
EME-R9	Efecto			+	-	-					
	% SC Prob F>	69,72	19,89	9,12	1,27	32,29	4,74	1,40	0,16	0,42	0,42
EME-R1	Efecto			+	+	-					
	% SC Prob F>	52,52	24,17	4,06	11,22	10,17	0,00	0,55	1,82	0,49	0,03
R1-R5	Efecto			+	+	+					
	% SC Prob F>	94,02	13,66	23,38	24,00	19,19	10,14	1,26	1,34	0,49	0,57
R5-15+20	Efecto			+	+	-					
	% SC Prob F>	81,46	18,83	17,90	25,15	15,50	1,29	0,96	0,48	0,77	0,59
R5+100	Efecto			+	+	-					
	% SC Prob F>	71,49	19,32	16,71	20,65	8,91	0,09	3,10	1,65	0,52	0,54
R5 100-200	Efecto			+	+	-					
	% SC Prob F>	74,57	20,98	14,18	23,02	14,76	0,22	0,17	0,36	0,48	0,41
R5 100-300	Efecto			+	+	-					
	% SC Prob F>	69,97	20,44	18,57	16,49	12,10	0,32	0,75	0,71	0,37	0,21
R5 200	Efecto			+	+	-					
	% SC Prob F>	71,68	19,97	15,27	21,02	12,46	0,00	1,28	0,78	0,55	0,34
R5 250-450	Efecto			+	+	-					
	% SC Prob F>	79,49	19,83	14,57	30,15	1,05	12,00	1,00	0,45	0,39	0,05
R5 300	Efecto			+	+	-					
	% SC Prob F>	74,21	21,46	18,82	19,33	11,21	0,18	1,49	1,01	0,49	0,25

Tabla A3.10: Análisis de correlación entre rendimiento, número de granos (MG) y peso de granos (PG) con las características fenotípicas y ambientales detalladas en la tabla. n= número de observaciones, Pearson=Coeficiente de correlación entre la característica detallada como título de columna y la característica detallada en cada fila, p-valor: expresa el grado de significancia de cada coeficiente. Los valores de estabilidad oxidativa no incluyen a la zona NEA. Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Característica	rendimiento aceite (kg.ha ⁻¹)			NG (granos.m-2)		PG (mg.grano-1)	
	n	Pearson	p-valor	Pearson	p-valor	Pearson	p-valor
rendimiento aceite (kg.ha ⁻¹)	55	1	<0,0001	0,8	<0,0001	-0,15	0,2664
NG (granos.m ⁻²)	55	0,8	<0,0001	1	<0,0001	-0,66	<0,0001
PG (mg.grano ⁻¹)	55	-0,15	0,2664	-0,66	<0,0001	1	<0,0001
granos por planta	55	0,47	0,0003	0,72	<0,0001	-0,48	0,0002
hojas verdes R7 (%)	55	0,4	0,0028	0,08	0,5691	0,22	0,102
Aceite (%)	55	0,67	<0,0001	0,38	0,0046	-0,1	0,4708
proteínas (%)	55	-0,6	<0,0001	-0,65	<0,0001	0,33	0,0146
aceite por grano (mg.grano ⁻¹)	55	0,18	0,1866	-0,44	0,0009	0,88	<0,0001
proteínas(%) /aceite(%)	55	-0,75	<0,0001	-0,68	<0,0001	0,31	0,0218
cascara (%)	55	-0,05	0,7121	0,14	0,3201	-0,04	0,7479
Cascara (mg.grano ⁻¹)	55	-0,14	0,3167	-0,45	0,0005	0,8	<0,0001
aptitud al descascarado (%)	55	-0,45	0,0006	-0,47	0,0003	0,49	0,0001
%aceite/Cascara (mg.grano ⁻¹)	55	0,29	0,0305	0,43	0,001	-0,62	<0,0001
ceras en grano (mg.grano ⁻¹)	55	0,24	0,0838	-0,25	0,069	0,61	<0,0001
ceras en aceite (µg.g aceite ⁻¹)	55	0,11	0,422	0,27	0,0501	-0,31	0,0221
fosfolipidos (mg.g aceite ⁻¹)	55	-0,37	0,0049	-0,49	0,0001	0,34	0,0107
PE (mg.g aceite ⁻¹)	55	-0,32	0,017	-0,51	0,0001	0,46	0,0005
AP (mg.g aceite ⁻¹)	55	-0,31	0,0231	-0,42	0,0014	0,3	0,025
PI (mg.g aceite ⁻¹)	55	-0,38	0,0041	-0,5	0,0001	0,33	0,0141
PC (mg.g aceite ⁻¹)	55	-0,44	0,0009	-0,43	0,001	0,18	0,2003
tocoferoles (µg.g aceite ⁻¹)	55	0,04	0,7657	0,56	<0,0001	-0,82	<0,0001
a-tocoferol (µg.g aceite ⁻¹)	55	0,03	0,8193	0,55	<0,0001	-0,82	<0,0001
b-tocoferol (µg.g aceite ⁻¹)	55	0,31	0,0218	0,6	<0,0001	-0,59	<0,0001
ácidos saturados (%)	55	0,14	0,3024	0,08	0,5627	-0,08	0,5778
mirístico (%)	55	0,49	0,0001	0,6	<0,0001	-0,43	0,001
palmitico (%)	55	0,25	0,0661	0,22	0,1121	-0,2	0,1464
estearico (%)	55	-0,07	0,5975	-0,15	0,2854	0,11	0,4389
oleico (%)	50	-0,72	<0,0001	-0,74	<0,0001	0,57	<0,0001
linoleico (%)	55	0,62	<0,0001	0,74	<0,0001	-0,63	<0,0001
linolenico (%)	55	0,53	<0,0001	0,65	<0,0001	-0,5	0,0001
índice de Iodo	55	0,63	<0,0001	0,76	<0,0001	-0,65	<0,0001
estabilidad oxidativa (h)	45	-0,29	0,0494	-0,39	0,0089	0,35	0,0182
T °C min- R1 - R5	55	-0,49	0,0001	-0,61	<0,0001	0,37	0,0048
PAR- R1 - R5	55	-0,2	0,1517	-0,34	0,0101	0,55	<0,0001
HR- R1 - R5	55	0,02	0,8978	0,37	0,0058	-0,57	<0,0001
Agua Útil Disponible (mm)-R1 - R5	55	0,42	0,0015	0,41	0,0018	-0,24	0,0757
Lluvia (mm)-SUM R1 - R5	55	-0,19	0,1637	-0,38	0,004	0,17	0,2233
T °C min- R5+100-300	55	-0,73	<0,0001	-0,77	<0,0001	0,46	0,0004
PAR- R5+100-300	55	-0,26	0,0509	-0,48	0,0002	0,6	<0,0001
HR- R5+100-300	55	-0,26	0,0547	0,04	0,7919	-0,23	0,0968
Agua Útil Disponible (mm)-R5+100-300	55	-0,32	0,017	-0,23	0,0939	-0,07	0,6226
Lluvia (mm)-SUM R5+100-300..	55	-0,3	0,0278	-0,04	0,751	-0,09	0,4973
T °C min- R5+250-450	55	-0,64	<0,0001	-0,73	<0,0001	0,52	<0,0001
PAR- R5+250-450	55	-0,41	0,0018	-0,61	<0,0001	0,65	<0,0001
HR- R5+250-450	55	0,21	0,1329	0,48	0,0002	-0,36	0,0065
Agua Útil Disponible (mm)-R5+250-450	55	-0,4	0,0023	-0,18	0,1961	-0,05	0,7164
Lluvia (mm)-SUM R5+250-450..	55	-0,12	0,3839	-0,02	0,9126	0,06	0,6632
T °C min- R5+300	55	-0,73	<0,0001	-0,78	<0,0001	0,44	0,0007
PAR- R5+300	55	-0,24	0,0763	-0,45	0,0007	0,58	<0,0001
HR- R5+300	55	-0,28	0,038	4,70E-03	0,9729	-0,21	0,1322
Agua Útil Disponible (mm)-R5+300	55	-0,25	0,0649	-0,18	0,1985	-0,08	0,5618
Lluvia (mm)-SUM R5+300	55	-0,47	0,0003	-0,24	0,0814	6,40E-04	0,9963
N (kg×ha ⁻¹)	55	0,1	0,4467	0,43	0,0011	-0,65	<0,0001

Tabla A3.11: Análisis de correlación entre características ambientales incluidas en los modelos desarrollados: temperatura mínima = T°C min, PAR, HR, agua útil disponible y lluvias para las etapas ontogénicas R1-R5, R5+100-300°Cd, R5+250-450°Cd y R5+300°Cd y con el contenido inicial de nitrógeno en el suelo=N. Valores sobre la diagonal de 1.expresan el grado de significancia de cada coeficiente, valores debajo de la diagonal expresan el coeficiente de correlación de Pearson. n=55 Consultar índice de abreviaturas, en la página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Correlación de Pearson: Coeficientes/probabilidades

Características	T °C min R1 - R5	PAR R1 - R5	HR R1 - R5	Agua Útil Disponible (mm)-R1 - R5	Lluvia (mm) R1 - R5	T °C min- R5+100-300	PAR- R5+100-300	HR- R5+100-300	Agua Útil Disponible (mm)- R5+100-300	Lluvia (mm)- R5+100-300..	T °C min- R5+250-450	PAR- R5+250-450	HR- R5+250-450	Agua Útil Disponible (mm)- R5+250-450	Lluvia (mm)- R5+250-450..	T °C min- R5+300	PAR- R5+300	HR- R5+300	Agua Útil Disponible (mm)- R5+300	Lluvia (mm)- R5+300	N (kgxha ⁻¹)
T °C min- R1 - R5	1	0,18	0,98	0,38	0,29	2,90E-09	0,99	0,4	0,19	0,09	0	0,49	0,01	0,88	0,01	5,60E-11	0,8	0,71	0,14	0,53	1,50E-03
PAR- R1 - R5	-0,18	1	2,50E-03	8,30E-04	0,99	0,02	0	0,25	0,42	0,01	0,03	0	0,62	0,02	7,90E-08	0,07	0	0,34	0,25	0,01	2,90E-03
HR- R1 - R5	-3,40E-03	-0,4	1	2,80E-06	0,06	0,73	3,50E-05	2,00E-04	9,70E-05	1,40E-03	0,25	3,10E-03	0,01	4,10E-05	0,02	0,5	2,70E-05	5,40E-05	4,60E-05	1,10E-03	6,90E-04
Agua Útil Disponible (mm)-R1 - R5	-0,12	-0,44	0,58	1	0,98	0,14	1,40E-04	0,82	9,00E-04	0,87	1,90E-04	0,01	0,28	0,32	3,10E-04	0,34	5,10E-05	0,68	3,70E-05	0,99	0,07
Lluvia (mm)-SUM R1 - R5	0,15	1,00E-03	-0,26	4,10E-03	1	0,51	0,05	5,50E-04	0,55	0,01	0,55	0,03	6,80E-11	0,05	0,15	0,2	0,1	2,50E-03	0,26	0,16	0,22
T °C min- R5+100-300	0,7	0,31	0,05	-0,2	0,09	1	0,01	1,20E-03	1,90E-04	0,01	0	1,70E-05	0,11	2,90E-06	0,79	0	0,03	4,00E-04	8,40E-04	1,60E-05	0,14
PAR- R5+100-300	2,50E-03	0,92	-0,53	-0,49	0,26	0,34	1	0,47	0,46	0,46	0,01	0	0,09	0,23	5,30E-05	0,02	0	0,51	0,39	0,35	5,50E-05
HR- R5+100-300	-0,12	0,16	0,48	0,03	-0,45	0,43	-0,1	1	6,40E-05	2,70E-10	0,2	0,62	2,40E-05	0	0,09	0,01	0,47	0	1,00E-03	0	5,20E-04
Agua Útil Disponible (mm)-R5+100-300	0,18	-0,11	0,5	0,44	0,08	0,48	-0,1	0,51	1	3,20E-03	0,49	0,41	0,19	6,80E-12	8,10E-04	2,20E-05	0,29	8,50E-07	0	2,90E-06	1,70E-03
Lluvia (mm)-SUM R5+100-300..	-0,23	0,36	0,42	-0,02	-0,37	0,36	0,1	0,73	0,39	1	0,21	0,06	6,00E-04	2,90E-11	0,01	0,03	0,4	3,80E-09	0,03	0	0,01
T °C min- R5+250-450	0,8	0,29	-0,16	-0,48	-0,08	0,85	0,33	0,17	0,09	0,17	1	2,90E-03	0,77	0,06	0,82	0	0,02	0,16	0,79	0,07	0,01
PAR- R5+250-450	0,1	0,89	-0,39	-0,36	0,29	0,55	0,94	0,07	0,11	0,25	0,39	1	0,01	0,01	1,30E-04	4,40E-05	0	0,56	0,52	0,01	1,90E-04
HR- R5+250-450	-0,36	0,07	0,37	-0,15	-0,75	-0,22	-0,23	0,54	-0,18	0,45	-0,04	-0,33	1	0,14	0,13	0,02	0,21	1,60E-04	0,06	0,03	0,03
Agua Útil Disponible (mm)-R5+250-450	0,02	0,3	0,52	0,14	-0,27	0,58	0,17	0,8	0,77	0,75	0,26	0,36	0,2	1	0,43	7,70E-06	0,31	0	1,30E-09	0	0,01
Lluvia (mm)-SUM R5+250-450..	-0,37	0,65	-0,31	-0,47	-0,2	0,04	0,52	0,23	-0,44	0,33	0,03	0,49	0,21	0,11	1	0,64	3,20E-05	0,42	1,10E-04	0,12	0,15
T °C min- R5+300	0,75	0,24	0,09	-0,13	0,18	0,99	0,31	0,35	0,54	0,29	0,82	0,52	-0,31	0,56	-0,07	1	0,06	2,10E-03	7,80E-05	1,20E-04	0,1
PAR- R5+300	-0,04	0,93	-0,53	-0,52	0,22	0,29	0,99	-0,1	-0,15	0,12	0,31	0,92	-0,17	0,14	0,53	0,26	1	0,48	0,22	0,4	5,20E-05
HR- R5+300	-0,05	0,13	0,52	0,06	-0,4	0,46	-0,09	0,98	0,61	0,7	0,19	0,08	0,49	0,84	0,11	0,41	-0,1	1	2,20E-05	0	4,80E-04
Agua Útil Disponible (mm)-R5+300	0,2	-0,16	0,52	0,53	0,16	0,44	-0,12	0,43	0,98	0,29	0,04	0,09	-0,25	0,71	-0,5	0,51	-0,17	0,54	1	1,10E-04	3,80E-03
Lluvia (mm)-SUM R5+300	-0,09	0,34	0,43	1,60E-03	-0,19	0,55	0,13	0,82	0,58	0,89	0,25	0,35	0,3	0,86	0,21	0,5	0,12	0,83	0,5	1	0,01
N (kgxha ⁻¹)	-0,42	-0,39	0,44	0,25	-0,17	-0,2	-0,52	0,45	0,41	0,36	-0,36	-0,48	0,29	0,37	-0,2	-0,22	-0,52	0,46	0,38	0,35	1

Tabla A3 12: Análisis de correlación entre características fenotípicas y ambientales. Valores sobre la diagonal de 1 expresan el grado de significancia de cada coeficiente, valores debajo de la diagonal expresan el coeficiente de correlación de Pearson. n=55 Consultar índice de abreviaturas, en la página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Características	rendimiento aceite (kg·ha ⁻¹)	PG	NG	hojas verdes R7 (%)	Aceite (%)	aceite por grano (mg·grano ⁻¹)	proteínas (%)	carbohidrato s (%)	Cascara (g)	aptitud al descascarado (%)	ceras en aceite (µg·g aceite ⁻¹)	tocofenoles (µg·g aceite ⁻¹)	fosfolípidos (µg·g aceite ⁻¹)	ácidos saturados (%)	oleico (%)	estabilidad oxidativa (h)	T °C 100-300	PAR 100-300	HR 100-300	Agua Útil (mm) 100-300	Lluvia (mm) 100-300	T °C 250-450	PAR 250-450	HR 250-450	Agua Útil (mm) 250-450	Lluvia (mm) 250-450	T °C +300	PAR +300	HR +300	Agua Útil (mm) +300	Lluvia (mm) +300	N (kg·ha ⁻¹)
rendimiento aceite (kg·ha ⁻¹)	1	0,270	0,000	0,003	0,000	0,190	0,000	0,240	0,320	0,001	0,420	0,770	0,005	0,300	0,000	0,000	0,000	0,050	0,050	0,020	0,030	0,000	0,002	0,130	0,002	0,380	0,000	0,080	0,040	0,060	0,000	0,450
PG	-0,150	1	0,000	0,100	0,470	0,000	0,010	0,220	0,000	0,000	0,020	0,000	0,010	0,580	0,000	0,000	0,000	0,000	0,100	0,620	0,500	0,000	0,000	0,010	0,720	0,660	0,001	0,000	0,130	0,560	1,000	0,000
NG	0,800	-0,660	1	0,570	0,005	0,001	0,000	0,260	0,001	0,000	0,050	0,000	0,000	0,560	0,000	0,000	0,000	0,000	0,790	0,090	0,750	0,000	0,000	0,000	0,200	0,910	0,000	0,001	0,970	0,200	0,080	0,001
hojas verdes R7 (%)	0,400	0,220	0,080	1	0,030	0,010	0,010	0,710	0,080	0,090	0,010	0,020	0,750	0,000	0,010	0,040	0,000	0,770	0,000	0,140	0,000	0,070	0,270	0,020	0,000	0,000	0,002	0,690	0,000	0,270	0,000	0,150
aceite por grano (mg·grano ⁻¹)	0,180	0,880	-0,440	0,360	0,380	1	0,230	0,000	0,000	0,320	0,100	0,000	0,100	0,790	0,020	0,020	0,090	0,001	0,010	0,590	0,060	0,060	0,000	0,001	0,130	0,640	0,090	0,002	0,020	0,650	0,150	0,000
proteínas (%)	-0,600	0,330	-0,650	-0,330	-0,290	0,160	1	0,000	0,990	0,270	0,900	0,010	0,010	0,001	0,000	0,000	0,000	0,170	0,020	0,002	0,060	0,000	0,010	0,570	0,002	0,730	0,000	0,200	0,020	0,010	0,010	0,110
carbohidratos (%)	-0,160	-0,170	0,160	-0,050	-0,710	-0,490	-0,460	1	0,004	0,000	0,550	0,001	0,330	0,050	0,980	0,500	0,160	0,920	0,750	0,050	0,290	0,570	0,810	0,020	1,000	0,090	0,110	0,770	0,790	0,050	0,280	0,940
Cascara (g)	-0,140	0,800	-0,450	0,240	-0,430	0,550	0,002	0,390	1	0,000	0,010	0,000	0,200	0,350	0,000	0,000	0,170	0,000	0,050	0,010	0,350	0,010	0,000	0,180	0,130	0,130	0,290	0,000	0,040	0,010	0,710	0,000
aptitud al descascarado (%)	-0,450	0,490	-0,470	-0,230	-0,680	0,140	0,150	0,510	0,730	1	0,050	0,250	0,290	0,230	0,000	0,000	0,000	0,010	0,520	0,030	0,310	0,000	0,003	0,530	0,840	0,010	0,003	0,005	0,740	0,010	0,100	0,005
ceras en aceite (µg·g aceite ⁻¹)	0,110	-0,310	0,270	-0,350	0,150	-0,230	0,020	-0,080	-0,360	-0,260	1	0,040	0,000	0,010	0,370	0,340	0,570	0,010	0,000	0,190	0,000	0,310	0,030	0,000	0,020	0,350	0,380	0,010	0,001	0,500	0,003	0,010
tocofenoles (µg·g aceite ⁻¹)	0,040	-0,820	0,560	-0,310	-0,150	-0,830	-0,340	0,420	-0,500	-0,160	0,280	1	0,000	0,940	0,001	0,000	0,010	0,001	0,010	0,440	0,010	0,003	0,000	0,000	0,150	0,880	0,010	0,001	0,010	0,500	0,050	0,000
fosfolípidos (µg·g aceite ⁻¹)	-0,370	0,340	-0,490	0,040	-0,190	0,220	0,350	-0,130	0,170	0,140	-0,460	-0,560	1	0,250	0,030	0,010	0,020	0,030	0,010	0,190	0,050	0,010	0,010	0,003	0,170	0,850	0,010	0,040	0,010	0,280	0,110	0,000
ácidos saturados (%)	0,140	-0,080	0,080	0,700	0,040	-0,040	-0,430	0,260	0,130	-0,160	-0,350	0,010	0,160	1	0,000	0,020	0,000	0,780	0,000	0,020	0,000	0,001	0,400	0,010	0,000	0,060	0,000	0,690	0,000	0,070	0,000	0,060
oleico (%)	-0,610	0,620	-0,720	-0,370	-0,550	0,300	0,700	0,003	0,540	0,710	-0,120	-0,420	0,290	-0,500	1	0,000	0,000	0,020	0,040	0,300	0,150	0,000	0,000	0,460	0,030	0,280	0,000	0,030	0,050	0,530	0,020	0,001
estabilidad oxidativa (h)	-0,640	0,660	-0,760	-0,280	-0,620	0,320	0,650	0,090	0,600	0,680	-0,130	-0,460	0,350	-0,300	0,890	1	0,000	0,000	0,080	0,560	0,230	0,000	0,000	0,880	0,040	0,050	0,000	0,000	0,070	0,950	0,020	0,000
T °C +100-300	-0,730	0,460	-0,770	-0,480	-0,390	0,230	0,740	-0,190	0,190	0,460	-0,080	-0,340	0,320	-0,570	0,840	0,730	1	0,010	0,001	0,000	0,010	0,000	0,000	0,110	0,000	0,790	0,000	0,030	0,000	0,001	0,000	0,140
PAR-100-300	-0,260	0,600	-0,480	0,040	-0,250	0,450	0,190	0,010	0,490	0,370	-0,360	-0,440	0,290	0,040	0,310	0,540	0,340	1	0,470	0,460	0,460	0,010	0,000	0,090	0,230	0,000	0,020	0,000	0,510	0,390	0,350	0,000
HR-100-300	-0,260	-0,230	0,040	-0,790	-0,250	-0,340	0,320	0,040	-0,270	0,090	0,470	0,360	-0,360	-0,780	0,280	0,240	0,430	-0,100	1	0,000	0,000	0,200	0,620	0,000	0,000	0,090	0,010	0,470	0,000	0,001	0,000	0,001
Agua Útil (mm)-100-300	-0,320	-0,070	-0,230	-0,200	-0,010	-0,070	0,410	-0,270	-0,330	-0,290	0,180	0,110	-0,180	-0,320	0,140	0,080	0,480	-0,100	0,510	1	0,003	0,490	0,410	0,190	0,000	0,001	0,000	0,290	0,000	0,000	0,000	0,002
Lluvia (mm)100-300..	-0,300	-0,090	-0,040	-0,580	-0,330	-0,250	0,250	0,150	-0,130	0,140	0,550	0,330	-0,260	-0,560	0,200	0,160	0,360	0,100	0,730	0,390	1	0,210	0,060	0,001	0,000	0,010	0,030	0,400	0,000	0,030	0,000	0,010
T °C 250-450	-0,640	0,520	-0,730	-0,250	-0,460	0,250	0,660	-0,080	0,340	0,630	-0,140	-0,390	0,370	-0,450	0,860	0,770	0,850	0,330	0,170	0,090	0,170	1	0,003	0,770	0,060	0,820	0,000	0,020	0,160	0,790	0,070	0,010
PAR-250-450	-0,410	0,650	-0,610	-0,150	-0,290	0,460	0,330	-0,030	0,480	0,390	-0,290	-0,470	0,330	-0,120	0,460	0,620	0,550	0,940	0,070	0,110	0,250	0,390	1	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,560	0,520	0,010	0,000
HR-250-450	0,210	-0,360	0,480	-0,310	-0,240	-0,450	-0,080	0,320	-0,180	0,090	0,460	0,470	-0,400	-0,340	-0,100	-0,020	-0,220	-0,230	0,540	-0,180	0,450	-0,040	-0,330	1	0,140	0,130	0,020	0,210	0,000	0,060	0,030	0,030
Agua Útil (mm)-250-450..	-0,400	-0,050	-0,180	-0,580	-0,310	-0,210	0,400	0,001	-0,210	0,030	0,320	0,200	-0,190	-0,630	0,290	0,280	0,580	0,170	0,800	0,770	0,750	0,260	0,360	0,200	1	0,430	0,000	0,310	0,000	0,000	0,000	0,010
Lluvia (mm) 250-450..	-0,120	0,060	-0,020	-0,510	-0,250	-0,070	-0,050	0,230	0,210	0,330	0,130	0,020	0,030	-0,260	0,150	0,260	0,040	0,520	0,230	-0,440	0,330	0,030	0,490	0,210	0,110	1	0,640	0,000	0,420	0,000	0,120	0,150
T °C +300	-0,730	0,440	-0,780	-0,410	-0,360	0,230	0,720	-0,220	0,150	0,390	-0,120	-0,350	0,370	-0,480	0,790	0,690	0,990	0,310	0,350	0,540	0,290	0,820	0,520	-0,310	0,560	-0,070	1	0,060	0,002	0,000	0,000	0,100
PAR +300	-0,240	0,580	-0,450	0,050	-0,260	0,420	0,180	0,040	0,490	0,380	-0,350	-0,420	0,280	0,060	0,290	0,530	0,290	0,990	-0,100	-0,150	0,120	0,310	0,920	-0,170	0,140	0,530	0,260	1	0,480	0,220	0,400	0,000
HR +300	-0,280	-0,210	0,005	-0,720	-0,250	-0,320	0,320	0,040	-0,280	0,040	0,440	0,340	-0,350	-0,740	0,270	0,240	0,460	-0,090	0,980	0,610	0,700	0,190	0,080	0,490	0,840	0,110	0,410	-0,100	1	0,000	0,000	0,000
Agua Útil (mm) +300	-0,250	-0,080	-0,180	-0,150	0,040	-0,060	0,340	-0,260	-0,340	-0,330	0,090	0,090	-0,150	-0,250	0,090	0,010	0,440	-0,120	0,430	0,980	0,290	0,040	0,090	-0,250	0,710	-0,500	0,510	-0,170	0,540	1	0,000	0,004
Lluvia (mm)+300	-0,470	0,001	-0,240	-0,640	-0,390	-0,200	0,330	0,150	-0,050	0,230	0,390	0,260	-0,220	-0,560	0,330	0,320	0,550	0,130	0,820	0,580	0,890	0,250	0,350	0,300	0,860	0,210	0,500	0,120	0,830	0,500	1	0,010
N (kg·ha ⁻¹)	0,100	-0,650	0,430	-0,200	0,220	-0,500	-0,220	-0,010	-0,590	-0,370	0,350	0,690	-0,640	-0,250	-0,430	-0,570	-0,200	-0,520	0,450	0,410	0,360	-0,360	-0,480	0,290	0,370	-0,200	-0,220	-0,520	0,460	0,380	0,350	1

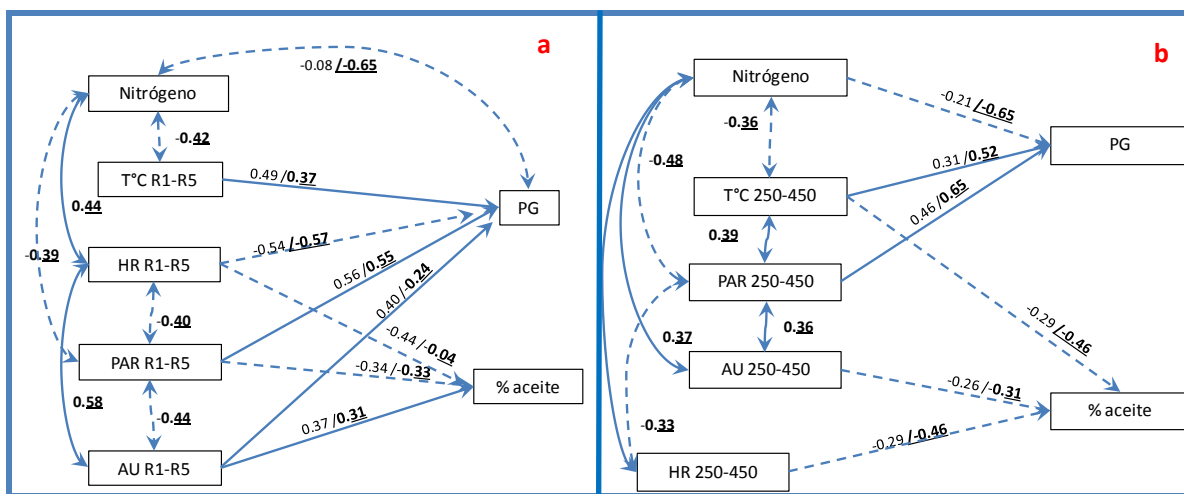


Figura A 3.9: Diagrama del análisis de correlaciones simples y parciales describiendo las relaciones entre peso de granos y porcentaje de aceite con características ambientales para las etapas: a) R1-R5 y b) R5+250-450°Cd. Términos de coeficientes de correlación parcial (efectos directos) son representados por las flechas unidireccionales y por valores sin subrayar. Coeficientes de correlación de Pearson representados por arcos bi-direccionales y/o por valores subrayados. Líneas continuas representan relaciones directas, líneas punteadas relaciones inversas. Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta figura.

Capítulo 4: Peso de cáscara y aptitud al descascarado

Tabla A4.1: Contribuciones de los factores G, E y GxE a la varianza para porcentaje y peso de la cáscara y para la aptitud al descascarado en función de los diferentes genotipos y de las agrupaciones de ambientes seleccionados en función de los resultados del Cap. III. Todos los modelos de análisis de la varianza fueron altamente significativos ($p < 0,0001$). * Diferencias significativas ($p < 0,05$). Valores seguidos de letras diferentes dentro de la misma columna y agrupación, difieren estadísticamente ($p < 0,05$). El porcentaje de la variabilidad explicada por cada efecto principal fue calculado en función de la razón entre la Suma de cuadrados de cada efecto dividido la suma de cuadrados totales por 100. Loc = Localidades (repeticiones) efecto anidado en cada grupo. Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta tabla.

		cáscara (%)	Cáscara×grano (mg)	aptitud al descascarado
R2		0,875	0,929	0,839
Suma de cuadrados totales		560	443	8168
Genotipo	% variabilidad explicada por genotipo			
		55% *	28% *	29% *
	Valores medios estimados			
	DK3820	22,57 C	12,36 C	25,27 D
	DK3880	27,68 B	13,85 B	37,82 BC
	DK3920	26,84 B	14,49 B	35,61 C
	DK4000	29,37 A	16,21 A	44,52 A
	DK4200	28,13 AB	16,96 A	43,65 AB
Agrupaciones	Efectos Principales/Clústeres			
Productividad media	% variabilidad explicada por cada efecto principal			
	Ambiente	9%	13%	12%
	Loc (ambiente)	21%	48%	39%
	Ambiente x Genotipo	3%	3%	4%
	Valores medios estimados			
	Alto	27,81 A	14,49 A	33,78 B
	Medio	27,26 A	12,16 A	29,15 B
	Bajo	25,63 A	15,22 A	41,29 A
Zona Agroecológica	% variabilidad explicada por cada efecto principal			
	Ambiente	4%	23%	25% *
	Loc (ambiente)	26%	38%	26%
	Ambiente x Genotipo	3%	3%	4%
	Valores medios estimados			
	NEA	26,3 A	16,7 A	48,0 A
	OESTE	26,7 A	14,7 A	31,9 B
	SUR	27,7 A	13,0 A	32,2 B
Nitrogeno disponible	% variabilidad explicada por cada efecto principal			
	Ambiente	13%	37% *	2%
	Loc (ambiente)	15%	25%	41%
	Ambiente x Genotipo	9% *	5% *	4%
	Valores medios estimados			
	Optimo	28,52 A	14,48 AB	32,18 A
	Alto	25,58 A	11,84 B	29,56 A
	bajo	27,53 A	15,46 A	33,25 A

Tabla A4.2: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total del porcentaje de cáscara del grano en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas, determinadas por el método de análisis de regresión multivariada. % SC modelo: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales explicado por el modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación positiva (+) o negativa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Cáscara (%)											
Etapas	Efecto Principal	%SC Modelo	Genotipo	T °C min	PAR (MJ.m ⁻² .día ⁻¹)	HR (%)	Agua Útil Disponible (mm)	Genotipo × T °C min	Genotipo × PAR	Genotipo × HR	Genotipo × Agua Útil Disponible (mm)
EME-R9	Efecto % SC Prob F>	88,57	58,79 <.0001	- 14,53 <.0001	+ 10,52 <.0001	1,07 0,0851	- 1,88 0,0242	0,40 0,8736	0,15 0,9763	0,61 0,764	0,63 0,7534
EME-R1	Efecto % SC Prob F>	79,28	70,67 <.0001	0,55 0,3945	0,00 0,932	5,38 0,011	0,94 0,2624	0,11 0,9967	1,52 0,7228	0,07 0,999	0,02 0,9998
R1-R5	Efecto % SC Prob F>	84,53	67,52 <.0001	- 7,35 0,0008	- 1,36 0,1195	- 3,49 0,0157	- 1,14 0,1529	0,51 0,9117	0,87 0,7973	1,05 0,7412	1,23 0,6769
R5-15+20	Efecto % SC Prob F>	93,85	75,90 <.0001	- 4,37 0,0002	- 0,08 0,5724	- 0,13 0,4526	- 8,99 <.0001	0,82 0,5055	0,59 0,655	1,75 0,1528	1,23 0,3016
R5+100	Efecto % SC Prob F>	93,02	80,29 <.0001	- 5,76 0,0001	- 0,29 0,3126	- 0,54 0,1859	- 2,39 0,0073	1,02 0,4888	0,75 0,6315	1,23 0,3874	0,75 0,6367
R5 100-200	Efecto % SC Prob F>	92,07	76,60 <.0001	- 4,41 <.0001	- 0,36 0,2012	+ 1,25 0,0216	- 7,03 <.0001	0,33 0,8182	0,82 0,4536	0,76 0,4783	0,51 0,6695
R5 100-300	Efecto % SC Prob F>	94,53	75,86 <.0001	- 3,16 0,0033	- 0,54 0,2025	+ 1,56 0,0321	- 11,38 <.0001	0,41 0,8569	0,61 0,7414	0,77 0,6557	0,26 0,9347
R5 200	Efecto % SC Prob F>	93,67	80,41 <.0001	- 5,32 <.0001	- 0,32 0,2713	- 0,08 0,5967	- 4,45 0,0003	0,54 0,7168	0,78 0,5695	1,11 0,3938	0,65 0,6545
R5 250-450	Efecto % SC Prob F>	86,47	62,90 <.0001	- 1,40 0,0826	+ 2,69 0,0183	+ 6,41 0,0006	- 11,11 <.0001	0,71 0,7998	0,36 0,9306	0,81 0,754	0,06 0,998
R5 300	Efecto % SC Prob F>	92,92	77,29 <.0001	- 3,62 0,0011	- 0,33 0,2792	- 0,46 0,2042	- 8,56 <.0001	0,54 0,7413	0,69 0,6579	1,00 0,4781	0,41 0,8279

Tabla A4.3: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total para peso de la cáscara del grano en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas, determinadas por el método de análisis de regresión multivariada. % SC modelo: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales explicado por el modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación positiva (+) o negativa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Cáscara (mg)											
Etapas	Efecto Principal	%SC Modelo	Genotipo	T °C min	PAR (MJ.m ⁻² .día ⁻¹)	HR (%)	Agua Útil Disponible (mm)	Genotipo× T °C min	Genotipo× PAR	Genotipo× HR	Genotipo× Agua Útil Disponible (mm)
EME-R9	Efecto % SC Prob F>	66,68	35,97 0,0003	0,11 0,7644	1,91 0,22	- 25,86 <0,001	0,83 0,4193	1,39 0,8854	0,19 0,9971	0,25 0,9953	0,17 0,9978
EME-R1	Efecto % SC Prob F>	45,57	35,97 0,0075	1,05 0,4873	6,00 0,1017	0,41 0,6631	0,29 0,7107	0,47 0,994	0,91 0,979	0,44 0,9949	0,03 1
R1-R5	Efecto % SC Prob F>	89,87	32,91 <0,001	+ 6,41 0,0002	+ 13,60 <0,001	- 26,94 <0,001	+ 5,50 0,0006	2,10 0,2511	1,82 0,3222	0,28 0,9395	0,30 0,9284
R5-15+20	Efecto % SC Prob F>	78,65	38,76 <0,001	+ 4,42 0,0363	+ 19,17 <0,001	- 12,38 0,0009	0,78 0,3634	1,72 0,7569	0,75 0,9332	0,39 0,9796	0,29 0,9881
R5+100	Efecto % SC Prob F>	72,35	36,87 <0,001	+ 3,35 0,0831	+ 16,49 0,0004	- 7,79 0,0104	1,28 0,2765	4,01 0,4411	1,42 0,8474	0,37 0,9852	0,77 0,9432
R5 100-200	Efecto % SC Prob F>	73,06	43,30 0,0004	+ 2,01 0,2587	+ 19,27 0,0013	- 4,95 0,0814	1,86 0,2797	0,66 0,9779	0,46 0,9886	0,31 0,9944	0,23 0,9969
R5 100-300	Efecto % SC Prob F>	70,22	39,56 0,0001	+ 4,84 0,0497	+ 13,64 0,0018	- 3,41 0,0957	6,53 0,0242	1,27 0,891	0,65 0,965	0,19 0,9961	0,13 0,9982
R5 200	Efecto % SC Prob F>	72,21	40,04 0,0001	+ 2,79 0,137	+ 17,68 0,0006	- 7,15 0,0206	1,40 0,2867	1,85 0,8145	0,78 0,9552	0,26 0,9946	0,26 0,994
R5 250-450	Efecto % SC Prob F>	78,59	29,92 <0,001	+ 3,46 0,0367	+ 22,93 <0,001	- 0,95 0,265	19,55 <0,001	1,05 0,8361	0,54 0,9464	0,20 0,991	0,00 1
R5 300	Efecto % SC Prob F>	73,64	41,02 <0,001	+ 4,72 0,0498	+ 15,24 0,0009	- 4,59 0,0524	4,65 0,0513	2,03 0,7689	0,94 0,9304	0,23 0,9953	0,23 0,9955

Tabla A4.4: Análisis de correlación entre cáscara (%), Cáscara (mg.grano⁻¹), aptitud al descascarado (%) y %aceite/Cáscara (mg.grano⁻¹) con las características fenotípicas y ambientales detalladas en la tabla. n= número de observaciones, Pearson=Coefficiente de correlación entre la característica detallada como título de columna y la característica detallada en cada fila, p-valor: expresa el grado de significancia de cada coeficiente. Los valores de estabilidad oxidativa no incluyen a la zona NEA. Consultar índice de abreviaturas en la página xviii del cuerpo principal de tesis para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Característica	n	cáscara (%)		Cáscara (mg.grano ⁻¹)		aptitud al descascarado (%)		%aceite/Cáscara (mg.grano ⁻¹)	
		Pearson	p-valor	Pearson	p-valor	Pearson	p-valor	Pearson	p-valor
rendimiento aceite (kg.ha ⁻¹)	55	-0,05	0,7121	-0,14	0,3167	-0,45	0,0006	0,29	0,0305
NG (granos.m ⁻²)	55	0,14	0,3201	-0,45	0,0005	-0,47	0,0003	0,43	0,001
PG (mg.grano ⁻¹)	55	-0,04	0,7479	0,8	<0,0001	0,49	0,0001	-0,62	<0,0001
granos por planta	55	0,28	0,0352	-0,2	0,1333	-0,08	0,5788	0,19	0,1756
hojas verdes R7 (%)	55	0,09	0,536	0,24	0,0791	-0,23	0,0909	-0,16	0,2365
Aceite (%)	55	-0,59	<0,0001	-0,43	0,0012	-0,68	<0,0001	0,68	<0,0001
proteínas (%)	55	-0,46	0,0004	2,20E-03	0,9871	0,15	0,2722	-0,03	0,8056
aceite por grano (mg.grano ⁻¹)	55	-0,31	0,0212	0,55	<0,0001	0,14	0,323	-0,26	0,0525
proteínas(%) /aceite(%)	55	-0,14	0,2923	0,17	0,2128	0,39	0,0036	-0,29	0,0296
cáscara (%)	55	1	<0,0001	0,56	<0,0001	0,55	<0,0001	-0,7	<0,0001
Cáscara (mg.grano ⁻¹)	55	0,56	<0,0001	1	<0,0001	0,73	<0,0001	-0,93	<0,0001
aptitud al descascarado (%)	55	0,55	<0,0001	0,73	<0,0001	1	<0,0001	-0,8	<0,0001
%aceite/Cáscara (mg.grano ⁻¹)	55	-0,7	<0,0001	-0,93	<0,0001	-0,8	<0,0001	1	<0,0001
ceras en grano (mg.grano ⁻¹)	55	-0,47	0,0003	0,23	0,0843	-0,07	0,6065	0,06	0,6682
ceras en aceite (µg.g aceite ⁻¹)	55	-0,22	0,1092	-0,36	0,0062	-0,26	0,051	0,41	0,0018
fosfolípidos (mg.g aceite ⁻¹)	55	-0,14	0,3201	0,17	0,2047	0,14	0,2922	-0,2	0,1499
PE (mg.g aceite ⁻¹)	55	-0,19	0,1733	0,24	0,0778	0,18	0,1884	-0,25	0,0638
AP (mg.g aceite ⁻¹)	55	-0,12	0,3912	0,15	0,2596	0,09	0,5197	-0,15	0,2853
PI (mg.g aceite ⁻¹)	55	-0,21	0,1266	0,12	0,393	0,14	0,2989	-0,15	0,2601
PC (mg.g aceite ⁻¹)	55	-0,01	0,9205	0,12	0,4026	0,18	0,1813	-0,21	0,1158
tocoferoles (µg.g aceite ⁻¹)	55	0,3	0,0268	-0,5	0,0001	-0,16	0,2506	0,32	0,0181
a-tocoferol (µg.g aceite ⁻¹)	55	0,3	0,0239	-0,49	0,0001	-0,15	0,2882	0,31	0,0208
b-tocoferol (µg.g aceite ⁻¹)	55	-0,02	0,8966	-0,49	0,0002	-0,45	0,0005	0,4	0,0022
ácidos saturados (%)	55	0,35	0,0093	0,13	0,3498	-0,16	0,2307	-0,17	0,2141
mirístico (%)	55	0,46	0,0004	-0,09	0,5245	-0,26	0,0582	0,08	0,5513
palmitico (%)	55	0,28	0,0414	-0,02	0,9015	-0,3	0,0265	0,01	0,9681
estearico (%)	55	0,37	0,0058	0,3	0,0267	0,08	0,5419	-0,37	0,0049
oleico (%)	50	-0,06	0,6547	0,46	0,0009	0,71	<0,0001	-0,5	0,0002
linoleico (%)	55	-0,08	0,5582	-0,57	<0,0001	-0,72	<0,0001	0,6	<0,0001
linolenico (%)	55	0,14	0,3075	-0,31	0,0193	-0,64	<0,0001	0,29	0,0341
índice de yodo	55	-0,11	0,4178	-0,6	<0,0001	-0,74	<0,0001	0,63	<0,0001
estabilidad oxidativa (h)	45	0,4	0,0063	0,56	0,0001	0,49	0,0006	-0,55	0,0001
T °C min- R1 - R5	55	-0,24	0,0823	0,15	0,2671	0,34	0,0123	-0,2	0,1429
PAR- R1 - R5	55	0,08	0,5782	0,5	0,0001	0,44	0,0008	-0,45	0,0006
HR- R1 - R5	55	-0,27	0,044	-0,63	<0,0001	-0,33	0,0131	0,5	0,0001
Agua Útil Disponible (mm)-R1 - R5	55	-0,2	0,1398	-0,31	0,0227	-0,47	0,0003	0,33	0,0128
Lluvia (mm)-SUM R1 - R5	55	-0,23	0,0845	-0,03	0,8229	-0,15	0,2769	0,11	0,4345
T °C min- R5+100-300	55	-0,31	0,0212	0,19	0,171	0,46	0,0004	-0,21	0,1252
PAR- R5+100-300	55	2,40E-03	0,9861	0,49	0,0001	0,37	0,0061	-0,43	0,0009
HR- R5+100-300	55	-0,15	0,263	-0,27	0,0484	0,09	0,5249	0,2	0,1439
Agua Útil Disponible (mm)-R5+100-300	55	-0,46	0,0004	-0,33	0,0137	-0,29	0,0305	0,31	0,023
Lluvia (mm)-SUM R5+100-300..	55	-0,1	0,4715	-0,13	0,3453	0,14	0,306	0,09	0,533
T °C min- R5+250-450	55	-0,14	0,3107	0,34	0,011	0,63	<0,0001	-0,39	0,0034
PAR- R5+250-450	55	-0,07	0,6053	0,48	0,0002	0,39	0,003	-0,41	0,0017
HR- R5+250-450	55	0,17	0,2094	-0,18	0,1846	0,09	0,5282	0,07	0,6312
Agua Útil Disponible (mm)-R5+250-450	55	-0,28	0,0355	-0,21	0,1292	0,03	0,842	0,14	0,3162
Lluvia (mm)-SUM R5+250-450..	55	0,26	0,0524	0,21	0,1306	0,33	0,0127	-0,2	0,1359
T °C min- R5+300	55	-0,35	0,0094	0,15	0,2903	0,39	0,003	-0,18	0,1998
PAR- R5+300	55	0,03	0,8278	0,49	0,0002	0,38	0,0046	-0,44	0,0007
HR- R5+300	55	-0,19	0,156	-0,28	0,0408	0,04	0,7447	0,21	0,1299
Agua Útil Disponible (mm)-R5+300	55	-0,46	0,0004	-0,34	0,011	-0,33	0,0148	0,32	0,0179
Lluvia (mm)-SUM R5+300	55	-0,09	0,5132	-0,05	0,7115	0,23	0,096	3,60E-03	0,9792
N (kg×ha ⁻¹)	55	-0,11	0,4335	-0,59	<0,0001	-0,37	0,0048	0,55	<0,0001

Tabla A4.5: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la aptitud al descascarado en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas, determinadas por el método de análisis de regresión multivariada. % SC modelo: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales explicado por el modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación positiva (+) o negativa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Aptitud al descascarado (%)											
Etapas	Efecto Principal	%SC Modelo	Genotipo	T °C min	PAR (MJ.m ⁻² .día ⁻¹)	HR (%)	Agua Útil Disponible (mm)	Genotipo× T °C min	Genotipo× PAR	Genotipo× HR	Genotipo× Agua Útil Disponible (mm)
EME-R9	Efecto % SC Prob F>	70,42	49,71 <.0001	+ 7,41 0,0245	3,82 0,0993	0,86 0,4266	4,63 0,0709	0,98 0,9446	0,40 0,9891	1,36 0,9027	1,24 0,9161
EME-R1	Efecto % SC Prob F>	68,03	46,40 <.0001	+ 8,68 0,0161	+ 9,10 0,0139	0,85 0,4321	0,54 0,5296	0,21 0,9969	1,99 0,8256	0,22 0,9965	0,04 0,9999
R1-R5	Efecto % SC Prob F>	82,14	43,80 <.0001	+ 16,16 <.0001	+ 14,11 0,0001	0,10 0,7105	2,76 0,0588	0,95 0,8532	1,13 0,81	1,42 0,7377	1,70 0,6681
R5-15+20	Efecto % SC Prob F>	86,87	38,83 <.0001	+ 19,85 <.0001	+ 5,61 0,0018	0,58 0,2804	- 17,50 <.0001	0,90 0,759	0,58 0,8728	1,87 0,4357	1,14 0,669
R5+100	Efecto % SC Prob F>	85,00	36,58 <.0001	+ 19,09 <.0001	+ 2,17 0,048	0,48 0,3382	- 22,82 <.0001	1,19 0,6755	0,65 0,8632	1,59 0,5477	0,44 0,9283
R5 100-200	Efecto % SC Prob F>	93,83	38,01 <.0001	+ 22,96 <.0001	+ 1,78 0,0304	0,22 0,4277	- 28,07 <.0001	0,52 0,8237	0,70 0,7285	0,96 0,6002	0,62 0,7743
R5 100-300	Efecto % SC Prob F>	90,62	34,11 <.0001	+ 25,92 <.0001	+ 0,89 0,0502	1,14 0,0281	- 26,51 <.0001	0,55 0,6349	0,56 0,6287	0,71 0,5187	0,23 0,8951
R5 200	Efecto % SC Prob F>	89,97	35,27 <.0001	+ 22,03 <.0001	+ 1,84 0,0274	0,57 0,2061	- 26,99 <.0001	0,65 0,7512	0,65 0,7546	1,34 0,4356	0,63 0,7637
R5 250-450	Efecto % SC Prob F>	90,46	37,82 <.0001	+ 27,58 <.0001	+ 9,05 <.0001	6,05 0,0002	- 7,41 <.0001	0,87 0,6491	0,45 0,8608	1,15 0,5214	0,08 0,9936
R5 300	Efecto % SC Prob F>	92,53	34,55 <.0001	+ 25,12 <.0001	+ 1,13 0,0438	1,57 0,0191	- 27,39 <.0001	0,71 0,6004	0,59 0,6853	1,11 0,3827	0,37 0,8371

Capítulo 5: Ceras en aceite de Girasol

Tabla A5.1: Contribuciones de los factores G, E y GxE a la varianza total para el contenido de ceras en aceite, en aquenios y del porcentaje de aceite en función de los diferentes genotipos y de las agrupaciones de ambientes seleccionados en función de los resultados del Cap. III. Todos los modelos de análisis de la varianza fueron altamente significativos ($p < 0,0001$). * Diferencias significativas ($p < 0,05$). Valores seguidos de letras diferentes dentro de la misma columna y agrupación, difieren estadísticamente ($p < 0,05$). El porcentaje de la variabilidad explicada por cada efecto principal fue calculado en función de la razón entre la Suma de cuadrados de cada efecto dividido la suma de cuadrados totales por 100. Loc = Localidades (repeticiones) efecto anidado en cada grupo. Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta tabla.

		ceras en aceite ($\mu\text{g.g aceite}^{-1}$)	ceras/grano (mg.grano^{-1})	Aceite total (%)	aceite por grano (mg.grano^{-1})
	R^2	0,672	0,753	0,914	0,918
	Suma de cuadrados totales	1176123	0,0012	692,9	955,0
Genotipo	% variabilidad explicada por genotipo				
		25% *	43% *	50% *	29% *
	Valores medios estimados				
	DK3820	1041 A	0,029 A	51 A	27 A
	DK3880	874 B	0,019 C	46 D	22 D
	DK3920	959 AB	0,024 B	49 B	25 B
	DK4000	1037 A	0,025 B	45 D	23 C
Agrupaciones	DK4200	886 B	0,025 B	47 C	27 A
	Efectos Principales/Clústeres				
	% variabilidad explicada por cada efecto principal				
	Ambiente	18% *	2%	9%	29% *
	Loc (ambiente)	24%	27%	29%	31%
	Ambiente x Genotipo	7%	5%	4%	4%
	Valores medios estimados				
Productividad media	Alto	957 B	0,02 A	49,27 A	25,71 AB
	Medio	1101 A	0,02 A	46,98 A	21,00 B
	Bajo	919 B	0,02 A	47,14 A	27,65 A
Zona Agroecológica	% variabilidad explicada por cada efecto principal				
	Ambiente	9%	10%	27% *	38% *
	Loc (ambiente)	33%	19%	11%	21%
	Ambiente x Genotipo	2%	5%	4%	6% *
	Valores medios estimados				
	NEA	916 A	0,03 A	44,79 B	28,26 A
	OESTE	944 A	0,03 A	50,10 A	27,46 A
Nitrogeno disponible	SUR	1018 A	0,02 A	48,20 A	22,58 B
	% variabilidad explicada por cada efecto principal				
	Ambiente	22% *	11%	2%	30% *
	Loc (ambiente)	30%	22%	21%	22%
	Ambiente x Genotipo	5%	5%	7% *	3%
	Valores medios estimados				
	Optimo	900,57 B	0,02 A	49,66 A	25,25 AB
	Alto	1065,70 A	0,02 A	48,74 A	22,74 B
	bajo	950,03 B	0,03 A	49,51 A	27,80 A

Tabla A5.2: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración de ceras en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas, determinadas por el método de análisis de regresión multivariada. % SC modelo: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales explicado por el modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación positiva (+) o negativa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta tabla.

ceras en aceite (µg.g aceite ⁻¹)											
Etapas	Efecto Principal	%SC Modelo	Genotipo	T °C min	PAR (MJ.m ⁻² .día ⁻¹)	HR (%)	Agua Útil Disponible (mm)	Genotipo × T °C min	Genotipo × PAR	Genotipo × HR	Genotipo × Agua Útil Disponible (mm)
EME-R9	Efecto % SC Prob F>	80,98	49,47 <.0001	0,41 0,4483	0,10 0,7021	+ 27,13 <.0001	- 0,79 0,2929	1,12 0,8037	0,56 0,9354	0,86 0,868	0,53 0,941
EME-R1	Efecto % SC Prob F>	86,21	48,24 <.0001	9,62 0,0001	0,69 0,2437	+ 24,46 <.0001	- 2,16 0,0432	0,20 0,9806	0,49 0,9053	0,34 0,9489	0,02 0,9999
R1-R5	Efecto % SC Prob F>	73,94	42,64 <.0001	8,46 0,0031	1,53 0,183	+ 13,83 0,0003	+ 4,03 0,0345	1,28 0,8142	0,57 0,9499	0,71 0,9279	0,89 0,8949
R5-15+20	Efecto % SC Prob F>	82,43	44,47 <.0001	- 3,10 0,027	- 5,73 0,0036	+ 21,83 <.0001	- 3,92 0,0138	1,49 0,6309	0,50 0,9254	0,96 0,7952	0,42 0,9442
R5+100	Efecto % SC Prob F>	82,81	42,00 <.0001	- 2,21 0,0552	- 8,26 0,0006	+ 21,41 <.0001	- 5,70 0,0032	1,33 0,6655	0,45 0,936	1,05 0,7546	0,41 0,9435
R5 100-200	Efecto % SC Prob F>	85,17	48,39 <.0001	- 5,63 0,0055	- 3,56 0,024	+ 22,86 <.0001	- 0,72 0,2944	2,41 0,4453	0,56 0,9243	0,97 0,8174	0,07 0,9985
R5 100-300	Efecto % SC Prob F>	82,01	48,39 <.0001	- 3,08 0,0216	- 4,75 0,0052	+ 23,23 <.0001	- 0,12 0,6376	1,42 0,6119	0,16 0,9886	0,81 0,8158	0,04 0,9992
R5 200	Efecto % SC Prob F>	82,67	45,81 <.0001	- 3,25 0,0233	- 5,42 0,0043	+ 23,11 <.0001	- 2,79 0,0345	1,20 0,7173	0,28 0,9739	0,68 0,8755	0,13 0,9936
R5 250-450	Efecto % SC Prob F>	83,94	53,00 <.0001	1,52 0,1327	- 6,22 0,0038	+ 8,16 0,0012	+ 12,70 0,0001	0,95 0,8243	0,49 0,941	0,85 0,853	0,06 0,9989
R5 300	Efecto % SC Prob F>	83,98	47,30 <.0001	- 2,56 0,0411	- 6,08 0,0026	+ 24,20 <.0001	- 1,59 0,1027	1,18 0,7176	0,25 0,9773	0,71 0,8651	0,10 0,9958

Tabla A5.3: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total del contenido de ceras por grano en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas, determinadas por el método de análisis de regresión multivariada. % SC modelo: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales explicado por el modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación positiva (+) o negativa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta tabla.

ceras por grano (mg.grano ⁻¹)											
Etapas	Efecto Principal	%SC Modelo	Genotipo	T °C min	PAR (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)	HR (%)	Agua Útil Disponible (mm)	Genotipo × T °C min	Genotipo × PAR	Genotipo × HR	Genotipo × Agua Útil Disponible (mm)
EME-R9	Efecto % SC Prob F>	79,37 <.0001	61,90 0,1336	1,62 0,1336	1,48 0,151	- 6,11 0,0055	- 3,88 0,0235	1,74 0,6392	0,56 0,9322	1,17 0,7854	0,92 0,8498
EME-R1	Efecto % SC Prob F>	73,54 <.0001	65,89 0,0417	+ 4,16 0,0417	0,37 0,5307	0,19 0,6532	0,27 0,5937	0,40 0,9781	1,70 0,7628	0,54 0,9627	0,02 1
R1-R5	Efecto % SC Prob F>	85,50 <.0001	58,42 0,0314	+ 2,29 0,0314	+ 2,97 0,0153	- 8,40 0,0002	+ 6,81 0,0005	2,18 0,3258	1,74 0,4401	1,21 0,6148	1,48 0,5219
R5+100	Efecto % SC Prob F>	74,34 <.0001	63,69 0,1059	2,54 0,1059	0,83 0,3464	1,73 0,179	0,15 0,6903	2,25 0,6543	1,57 0,7851	1,34 0,8301	0,24 0,9915
R5 100-200	Efecto % SC Prob F>	73,32 <.0001	66,45 0,5481	0,37 0,5481	1,02 0,3203	1,11 0,3006	0,59 0,4477	1,17 0,8798	0,89 0,9232	1,16 0,883	0,55 0,9674
R5 100-300	Efecto % SC Prob F>	72,47 <.0001	65,61 0,1691	1,86 0,1691	0,49 0,4745	1,03 0,3022	0,01 0,9045	1,30 0,8449	0,87 0,9181	1,06 0,8877	0,24 0,9921
R5 200	Efecto % SC Prob F>	73,25 <.0001	59,68 0,263	2,25 0,263	0,01 0,3213	0,98 0,1801	8,57 0,7789	0,29 0,7635	0,36 0,8971	0,78 0,8182	0,33 0,9674
R5 250-450	Efecto % SC Prob F>	75,92 <.0001	68,14 0,4103	0,62 0,4103	2,46 0,1068	0,47 0,4738	0,95 0,3095	1,33 0,8257	0,61 0,952	1,23 0,8459	0,11 0,9979
R5 300	Efecto % SC Prob F>	73,61 <.0001	65,36 0,1457	2,10 0,1457	0,63 0,4181	1,26 0,2562	0,00 0,9835	1,64 0,7809	1,04 0,8903	1,28 0,8486	0,29 0,9886

Tabla A5.4: Análisis de correlación entre ceras en grano (mg.grano-1) y ceras en aceite (µg.g aceite⁻¹) con las características fenotípicas y ambientales detalladas en la tabla. n= número de observaciones, Pearson=Coficiente de correlación entre la característica detallada como título de columna y la característica detallada en cada fila, p-valor: expresa el grado de significancia de cada coeficiente. Los valores de estabilidad oxidativa no incluyen a la zona NEA. Consultar índice de abreviaturas en la página xviii del cuerpo principal de tesis para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Característica	n	ceras en grano (mg.grano-1)		ceras en aceite (µg.g aceite-1)	
		Pearson	p-valor	Pearson	p-valor
rendimiento aceite (kg.ha ⁻¹)	55	0,24	0,0838	0,11	0,422
NG (granos.m ⁻²)	55	-0,25	0,069	0,27	0,0501
PG (mg.grano ⁻¹)	55	0,61	<0,0001	-0,31	0,0221
granos por planta	55	-0,28	0,0384	0,19	0,1717
hojas verdes R7 (%)	55	0,11	0,416	-0,35	0,008
Aceite (%)	55	0,48	0,0002	0,15	0,2802
proteínas (%)	55	0,17	0,2034	0,02	0,8991
aceite por grano (mg.grano ⁻¹)	55	0,79	<0,0001	-0,23	0,0954
proteínas(%) /aceite(%)	55	-0,04	0,7507	-0,04	0,7454
casaca (%)	55	-0,47	0,0003	-0,22	0,1092
Casaca (mg.grano ⁻¹)	55	0,23	0,0843	-0,36	0,0062
aptitud al descascarado (%)	55	-0,07	0,6065	-0,26	0,051
%aceite/Casaca (mg.grano ⁻¹)	55	0,06	0,6682	0,41	0,0018
ceras en grano (mg.grano ⁻¹)	55	1	<0,0001	0,41	0,0019
ceras en aceite (µg.g aceite ⁻¹)	55	0,41	0,0019	1	<0,0001
fosfolípidos (mg.g aceite ⁻¹)	55	-0,01	0,9274	-0,46	0,0004
PE (mg.g aceite ⁻¹)	55	0,08	0,5381	-0,45	0,0006
AP (mg.g aceite ⁻¹)	55	-3,20E-03	0,9815	-0,44	0,0009
PI (mg.g aceite ⁻¹)	55	0,04	0,7906	-0,4	0,0025
PC (mg.g aceite ⁻¹)	55	-0,21	0,1322	-0,43	0,0011
tocoferoles (µg.g aceite ⁻¹)	55	-0,63	<0,0001	0,28	0,0363
a-tocoferol (µg.g aceite ⁻¹)	55	-0,63	<0,0001	0,28	0,036
b-tocoferol (µg.g aceite ⁻¹)	55	-0,36	0,0066	0,17	0,2086
ácidos saturados (%)	55	-0,25	0,0679	-0,35	0,0093
mirístico (%)	55	-0,28	0,0412	-0,02	0,8576
palmitico (%)	55	-0,18	0,1987	-0,2	0,1432
estearico (%)	55	-0,29	0,0289	-0,46	0,0004
oleico (%)	50	0,08	0,5909	-0,2	0,1702
linoleico (%)	55	-0,18	0,1924	0,16	0,2463
linolenico (%)	55	-0,26	0,0591	0,07	0,6289
índice de Iodo	55	-0,16	0,2314	0,19	0,1547
estabilidad oxidativa (h)	45	0,12	0,441	0,14	0,3641
T °C min- R1 - R5	55	0,09	0,5005	-0,25	0,0644
PAR- R1 - R5	55	0,18	0,1872	-0,16	0,2294
HR- R1 - R5	55	-0,26	0,0589	0,39	0,0033
Agua Útil Disponible (mm)-R1 - R5	55	0,02	0,9062	0,12	0,3832
Lluvia (mm)-SUM R1 - R5	55	-0,01	0,9258	-0,52	<0,0001
T °C min- R5+100-300	55	0,17	0,2098	-0,08	0,5743
PAR- R5+100-300	55	0,16	0,239	-0,36	0,0076
HR- R5+100-300	55	-0,05	0,7067	0,47	0,0003
Agua Útil Disponible (mm)-R5+100-300	55	0,03	0,8343	0,18	0,1865
Lluvia (mm)-SUM R5+100-300..	55	0,07	0,5908	0,55	<0,0001
T °C min- R5+250-450	55	0,16	0,2578	-0,14	0,3096
PAR- R5+250-450	55	0,22	0,0997	-0,29	0,0339
HR- R5+250-450	55	-0,16	0,24	0,46	0,0004
Agua Útil Disponible (mm)-R5+250-450	55	-0,02	0,8609	0,32	0,0183
Lluvia (mm)-SUM R5+250-450..	55	0,01	0,9627	0,13	0,3487
T °C min- R5+300	55	0,15	0,277	-0,12	0,3773
PAR- R5+300	55	0,14	0,3156	-0,35	0,009
HR- R5+300	55	-0,06	0,659	0,44	0,0009
Agua Útil Disponible (mm)-R5+300	55	-0,01	0,933	0,09	0,4952
Lluvia (mm)-SUM R5+300	55	0,02	0,8676	0,39	0,003
N (kg×ha ⁻¹)	55	-0,26	0,0534	0,35	0,008

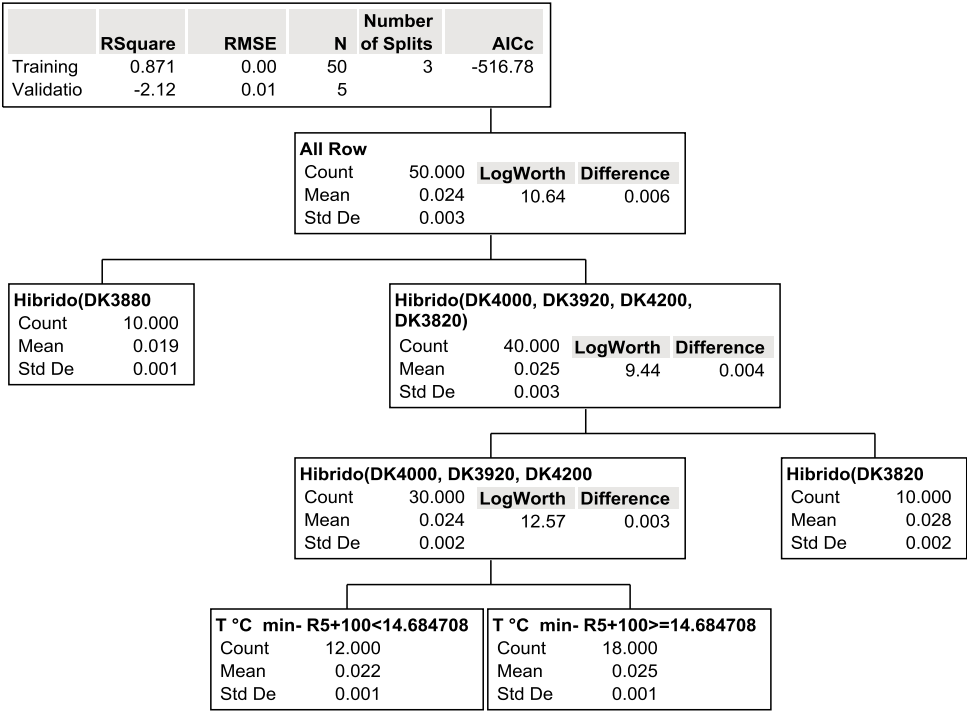


Figura A5.1: Partición dicotómica de los valores observados del contenido de ceras en granos en función de genotipos y datos observados de características fenotípicas y factores ambientales por el método de partición recurrente. Cada rectángulo indica el nombre de la característica y valor de la misma en función de la cual se generó la partición, el número total de observaciones involucradas en cada grupo (count), el valor medio del grupo (mean) y su desvío estándar (Std Dev), así como la amplitud de los valores observados dentro de cada grupo (diferencia) cuando este fue vuelto a subdividir. Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta figura.

Capítulo 6: FOSFOLÍPIDOS

Tabla A6.1: Contribuciones de los factores G, E y GxE a la varianza total para el contenido de fosfolípidos en función de los diferentes genotipos y de las agrupaciones de ambientes seleccionados en función de los resultados del Cap. III. Todos los modelos de análisis de la varianza fueron altamente significativos ($p < 0,0001$). * Diferencias significativas ($p < 0,05$). Valores seguidos de letras diferentes dentro de la misma columna y agrupación, difieren estadísticamente ($p < 0,05$). El porcentaje de la variabilidad explicada por cada efecto principal fue calculado en función de la razón entre la Suma de cuadrados de cada efecto dividido la suma de cuadrados totales por 100. Loc = Localidades (repeticiones) efecto anidado en cada grupo. Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

		fosfolípidos (mg.g aceite⁻¹)	PA (mg.g aceite⁻¹)	PC (mg.g aceite⁻¹)	PE (mg.g aceite⁻¹)	PI (mg.g aceite⁻¹)
	R2	0,698	0,678	0,677	0,693	0,721
	Suma de cuadrados totales	55,10	13,85	2,04	3,70	1,12
Genotipo	% variabilidad explicada por genotipo					
		11% *	17% *	16% *	2%	11% *
	Valores medios estimados					
	DK3820	1,658 A	0,725 A	0,256 AB	0,437 A	0,240 A
	DK3880	1,604 AB	0,726 A	0,345 A	0,405 A	0,129 B
	DK3920	0,904 C	0,364 B	0,107 C	0,337 A	0,097 B
	DK4000	0,962 BC	0,356 B	0,171 BC	0,337 A	0,098 B
	DK4200	1,750 A	0,925 A	0,263 AB	0,394 A	0,167 AB
Agrupaciones	Efectos Principales/Clústeres					
Productividad media	% variabilidad explicada por cada efecto principal					
	Ambiente	5% *	4%	3%	9% *	8% *
	Loc (ambiente)	44%	36%	42%	52%	36%
	Ambiente x Genotipo	7%	8%	6%	5%	12%
	Valores medios estimados					
	Alto	1,039 B	0,475 A	0,171 A	0,295 B	0,098 B
	Medio	1,235 AB	0,666 A	0,241 A	0,239 B	0,090 B
	Bajo	1,565 A	0,684 A	0,244 A	0,449 A	0,188 A
Zona Agroecológica	% variabilidad explicada por cada efecto principal					
	Ambiente	17% *	8% *	11% *	34% *	18% *
	Loc (ambiente)	31% *	30% *	37% *	28% *	22% *
	Ambiente x Genotipo	10%	13%	5%	6%	21% *
	Valores medios estimados					
	NEA	1,966 A	0,811 A	0,326 A	0,584 A	0,245 A
	OESTE	1,339 B	0,624 AB	0,208 B	0,381 B	0,127 B
	SUR	0,822 C	0,423 B	0,151 B	0,181 C	0,067 B
Nitrogeno disponible	% variabilidad explicada por cada efecto principal					
	Ambiente	37% *	25% *	35% *	45% *	32% *
	Loc (ambiente)	15%	10%	9%	24% *	33% *
	Ambiente x Genotipo	6%	11%	9%	6%	7%
	Valores medios estimados					
	Optimo	0,594 B	0,276 B	0,101 B	0,156 B	0,062 B
	Alto	0,526 B	0,282 B	0,072 B	0,129 B	0,043 B
	bajo	1,530 A	0,688 A	0,250 A	0,448 A	0,144 A

Tabla A6.2: Contribución relativa del Genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración de fosfolípidos en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas, determinadas por el método de análisis de regresión multivariada. % SC modelo: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales explicado por el modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación positiva (+) o negativa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Consultar índice de abreviaturas en la página xviii para el significado de las otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Fosfolípidos en aceite (mg.g aceite ⁻¹)											
Etapas	Efecto Principal	%SC Modelo	Genotipo	T °C min	PAR (MJ.m ⁻² .día ⁻¹)	HR (%)	Agua Útil Disponible (mm)	Genotipo × T °C min	Genotipo × PAR	Genotipo × HR	Genotipo × Agua Útil Disponible (mm)
EME-R9	Efecto % SC Prob F>	63,54	26,08 0,0165	+ 16,60 0,0051	0,95 0,4608	6,16 0,0793	0,95 0,5307	8,54 0,3299	0,95 0,9732	1,42 0,9338	1,90 0,9158
EME-R1	Efecto % SC Prob F>	62,91	27,80 0,0154	+ 13,66 0,0123	2,44 0,2892	2,44 0,2704	4,88 0,1203	1,95 0,8966	7,80 0,4018	1,95 0,8996	0,00 0,9989
R1-R5	Efecto % SC Prob F>	64,75	18,60 0,0131	+ 26,57 <.0001	2,32 0,1845	0,00 0,7641	0,00 0,7244	6,97 0,2557	6,64 0,2836	1,66 0,8449	1,99 0,7848
R5-15+20	Efecto % SC Prob F>	74,77	18,86 0,0026	+ 30,18 <.0001	0,34 0,6365	7,89 0,0064	2,40 0,1107	6,86 0,1396	3,43 0,4607	2,74 0,5531	2,06 0,6706
R5+100	Efecto % SC Prob F>	83,09	17,53 0,0002	+ 35,05 <.0001	0,00 0,6862	13,96 <.0001	3,89 0,0127	7,14 0,0274	3,25 0,234	0,97 0,7792	1,30 0,6581
R5 100-200	Efecto % SC Prob F>	75,60	16,77 0,0004	+ 28,42 <.0001	0,28 0,6197	19,61 <.0001	3,41 0,023	3,69 0,2014	1,99 0,5241	0,85 0,8072	0,57 0,8858
R5 100-300	Efecto % SC Prob F>	79,98	19,64 0,0021	+ 27,49 <.0001	0,00 0,8658	19,28 <.0001	4,64 0,0342	5,00 0,2611	2,50 0,6324	1,07 0,8929	0,36 0,972
R5 200	Efecto % SC Prob F>	82,16	17,78 0,0002	+ 32,80 <.0001	0,00 0,7984	16,56 <.0001	4,60 0,0082	5,52 0,0774	2,76 0,3541	0,92 0,805	1,23 0,7187
R5 250-450	Efecto % SC Prob F>	68,60	22,73 0,0095	+ 15,01 0,0028	3,86 0,1002	5,57 0,0603	9,86 0,0121	6,43 0,3687	3,43 0,6684	1,72 0,8839	0,00 0,9994
R5 300	Efecto % SC Prob F>	79,03	18,26 0,0008	+ 29,88 <.0001	0,00 0,94	16,60 <.0001	3,98 0,0263	5,98 0,1143	2,66 0,4815	1,00 0,8803	0,66 0,9059

Tabla A6.3: Análisis de correlación entre fosfolípidos (mg.g aceite-1), PE (mg.g aceite-1), AP (mg.g aceite-1), PI (mg.g aceite-1), y PC (mg.g aceite-1) con las características fenotípicas y ambientales detalladas en la tabla. n= número de observaciones, Pearson=Coeficiente de correlación entre la característica detallada como título de columna y la característica detallada en cada fila, p-valor: expresa el grado de significancia de cada coeficiente. Los valores de estabilidad oxidativa no incluyen a la zona NEA. Consultar índice de abreviaturas en la página xviii del cuerpo principal de tesis para el significado de aquellas abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Característica	n	fosfolípidos (mg.g aceite-1)		PE (mg.g aceite-1)		AP (mg.g aceite-1)		PI (mg.g aceite-1)		PC (mg.g aceite-1)	
		Pearson	p-valor	Pearson	p-valor	Pearson	p-valor	Pearson	p-valor	Pearson	p-valor
rendimiento aceite (kg.ha ⁻¹)	55	-0,37	0,0049	-0,32	0,017	-0,31	0,0231	-0,38	0,0041	-0,44	0,0009
NG (granos.m ⁻²)	55	-0,49	0,0001	-0,51	0,0001	-0,42	0,0014	-0,5	0,0001	-0,43	0,001
PG (mg.grano ⁻¹)	55	0,34	0,0107	0,46	0,0005	0,3	0,025	0,33	0,0141	0,18	0,2003
granos por planta	55	-0,55	<0,0001	-0,6	<0,0001	-0,46	0,0004	-0,49	0,0001	-0,51	0,0001
hojas verdes R7 (%)	55	0,04	0,7505	0,08	0,5856	0,04	0,7488	0,1	0,4769	-0,02	0,8699
Aceite (%)	55	-0,19	0,1681	-0,18	0,1802	-0,12	0,3994	-0,14	0,3132	-0,34	0,0113
proteínas (%)	55	0,35	0,0098	0,38	0,0041	0,26	0,054	0,34	0,0103	0,37	0,0053
aceite por grano (mg.grano ⁻¹)	55	0,22	0,1021	0,33	0,0132	0,22	0,1068	0,24	0,082	-1,40E-03	0,9918
proteínas(%)/aceite(%)	55	0,37	0,0054	0,4	0,0026	0,27	0,0452	0,34	0,0118	0,45	0,0005
cascara (%)	55	-0,14	0,3201	-0,19	0,1733	-0,12	0,3912	-0,21	0,1266	-0,01	0,9205
Cascara (mg.grano ⁻¹)	55	0,17	0,2047	0,24	0,0778	0,15	0,2596	0,12	0,393	0,12	0,4026
aptitud al descascarado (%)	55	0,14	0,2922	0,18	0,1884	0,09	0,5197	0,14	0,2989	0,18	0,1813
%aceite/Cascara (mg.grano ⁻¹)	55	-0,2	0,1499	-0,25	0,0638	-0,15	0,2853	-0,15	0,2601	-0,21	0,1158
ceras en grano (mg.grano ⁻¹)	55	-0,01	0,9274	0,08	0,5381	-3,20E-03	0,9815	0,04	0,7906	-0,21	0,1322
ceras en aceite (µg.g aceite ⁻¹)	55	-0,46	0,0004	-0,45	0,0006	-0,44	0,0009	-0,4	0,0025	-0,43	0,0011
fosfolípidos (mg.g aceite ⁻¹)	55	1	<0,0001	0,9	<0,0001	0,96	<0,0001	0,84	<0,0001	0,93	<0,0001
PE (mg.g aceite ⁻¹)	55	0,9	<0,0001	1	<0,0001	0,77	<0,0001	0,84	<0,0001	0,8	<0,0001
AP (mg.g aceite ⁻¹)	55	0,96	<0,0001	0,77	<0,0001	1	<0,0001	0,72	<0,0001	0,88	<0,0001
PI (mg.g aceite ⁻¹)	55	0,84	<0,0001	0,84	<0,0001	0,72	<0,0001	1	<0,0001	0,7	<0,0001
PC (mg.g aceite ⁻¹)	55	0,93	<0,0001	0,8	<0,0001	0,88	<0,0001	0,7	<0,0001	1	<0,0001
tocopheroles (µg.g aceite ⁻¹)	55	-0,56	<0,0001	-0,61	<0,0001	-0,5	0,0001	-0,56	<0,0001	-0,41	0,0021
a-tocoferol (µg.g aceite ⁻¹)	55	-0,56	<0,0001	-0,61	<0,0001	-0,5	0,0001	-0,56	<0,0001	-0,4	0,0024
b-tocoferol (µg.g aceite ⁻¹)	55	-0,39	0,0029	-0,41	0,0021	-0,34	0,0122	-0,36	0,0078	-0,39	0,003
ácidos saturados (%)	55	0,16	0,25	0,18	0,1773	0,13	0,3411	0,09	0,5336	0,19	0,1537
mirístico (%)	55	-0,26	0,0599	-0,27	0,0428	-0,21	0,1205	-0,29	0,0341	-0,22	0,1067
palmitico (%)	55	0,09	0,5309	0,14	0,3187	0,05	0,7016	0,09	0,5287	0,08	0,5506
estearico (%)	55	0,22	0,1076	0,21	0,1307	0,21	0,1292	0,07	0,6234	0,31	0,0234
oleico (%)	50	0,34	0,0145	0,41	0,0028	0,24	0,0988	0,42	0,0025	0,33	0,0198
linoleico (%)	55	-0,31	0,0206	-0,37	0,0053	-0,22	0,1116	-0,35	0,0083	-0,31	0,0218
linolenico (%)	55	-0,13	0,3337	-0,26	0,054	-0,03	0,8229	-0,26	0,0597	-0,08	0,579
índice de Iodo	55	-0,34	0,0123	-0,4	0,0025	-0,24	0,0837	-0,37	0,0052	-0,34	0,0123
estabilidad oxidativa (h)	45	-0,08	0,5908	-0,17	0,2735	-0,07	0,6654	-0,21	0,1602	0,03	0,837
T °C min- R1 - R5	55	0,5	0,0001	0,51	0,0001	0,4	0,0026	0,61	<0,0001	0,48	0,0002
PAR- R1 - R5	55	0,11	0,4147	0,29	0,0315	0,05	0,7327	0,06	0,6604	0,05	0,7073
HR- R1 - R5	55	-0,13	0,3604	-0,15	0,2634	-0,11	0,4281	-0,1	0,4877	-0,09	0,5096
Agua Útil Disponible (mm)-R1 - R5	55	-0,2	0,1346	-0,11	0,4065	-0,2	0,1502	-0,13	0,3279	-0,26	0,0548
Lluvia (mm)-SUM R1 - R5	55	0,35	0,009	0,38	0,0041	0,33	0,0141	0,35	0,0092	0,22	0,1059
T °C min- R5+100-300	55	0,32	0,0156	0,38	0,0038	0,24	0,0806	0,43	0,0011	0,25	0,0639
PAR- R5+100-300	55	0,29	0,0328	0,47	0,0003	0,2	0,151	0,27	0,0497	0,2	0,1376
HR- R5+100-300	55	-0,36	0,007	-0,4	0,0027	-0,32	0,0157	-0,31	0,0212	-0,32	0,0189
Agua Útil Disponible (mm)-R5+100-300	55	-0,18	0,1928	-0,14	0,3107	-0,19	0,1752	-0,01	0,9336	-0,25	0,0654
Lluvia (mm)-SUM R5+100-300..	55	-0,26	0,0523	-0,23	0,0928	-0,23	0,0875	-0,25	0,061	-0,29	0,0319
T °C min- R5+250-450	55	0,37	0,0056	0,41	0,0019	0,27	0,0503	0,46	0,0004	0,35	0,0085
PAR- R5+250-450	55	0,33	0,0127	0,5	0,0001	0,25	0,061	0,3	0,024	0,21	0,1157
HR- R5+250-450	55	-0,4	0,0026	-0,45	0,0005	-0,35	0,0087	-0,46	0,0004	-0,25	0,0658
Agua Útil Disponible (mm)-R5+250-450	55	-0,19	0,1684	-0,13	0,3461	-0,21	0,13	-0,07	0,6032	-0,22	0,1019
Lluvia (mm)-SUM R5+250-450..	55	0,03	0,8518	0,08	0,5489	-2,10E-03	0,9876	-0,09	0,5156	0,07	0,603
T °C min- R5+300	55	0,37	0,0058	0,43	0,001	0,27	0,0441	0,48	0,0002	0,28	0,035
PAR- R5+300	55	0,28	0,0372	0,45	0,0007	0,2	0,1477	0,23	0,0857	0,22	0,1139
HR- R5+300	55	-0,35	0,0087	-0,38	0,0041	-0,32	0,0176	-0,28	0,0369	-0,32	0,0167
Agua Útil Disponible (mm)-R5+300	55	-0,15	0,2763	-0,1	0,4816	-0,16	0,2347	0,02	0,8776	-0,23	0,092
Lluvia (mm)-SUM R5+300	55	-0,22	0,1073	-0,19	0,1621	-0,2	0,1422	-0,17	0,2281	-0,27	0,0471
N (kg×ha ⁻¹)	55	-0,64	<0,0001	-0,73	<0,0001	-0,54	<0,0001	-0,48	0,0002	-0,6	<0,0001

Tabla A6.4: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración del compuesto PE en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas, determinadas por el método de análisis de regresión multivariada. % SC modelo: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales explicado por el modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación positiva (+) o negativa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

PE (mg.g aceite ⁻¹)											
Etapas	Efecto Principal	%SC Modelo	Genotipo	T °C min	PAR (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)	HR (%)	Agua Útil Disponible (mm)	Genotipo × T °C min	Genotipo × PAR	Genotipo × HR	Genotipo × Agua Útil Disponible (mm)
EME-R9	Efecto			+							
	% SC Prob F>	58,88 0,287	11,78 0,003	17,66 0,1892	5,89 0,0074	17,66 0,3206	0,00 0,4853	5,89 0,9584	0,00 0,9967	0,00 0,9909	0,00
EME-R1	Efecto					-					
	% SC Prob F>	51,75 0,3504	14,10 0,1577	6,41 0,9339	0,02 0,0269	16,54 0,9474	0,01 0,9473	2,19 0,5146	10,18 0,9729	1,51 0,9918	0,79
R1-R5	Efecto			+	+						
	% SC Prob F>	65,12 0,1997	7,66 <0,001	30,65 0,0011	11,49 0,4549	0,00 0,1503	3,83 0,4062	3,83 0,2406	7,66 0,9927	0,00 0,9858	0,00
R5-15+20	Efecto			+	+	-					
	% SC Prob F>	72,29 0,1238	10,33 <0,001	30,98 0,0276	5,16 0,0015	15,49 0,9987	0,00 0,2864	5,16 0,2833	5,16 0,9498	0,00 0,9708	0,00
R5+100	Efecto			+	+	-					
	% SC Prob F>	84,40 0,0554	5,63 <0,001	39,39 0,0042	5,63 <0,001	22,51 0,5184	0,00 0,0392	5,63 0,1169	5,63 0,9683	0,00 0,695	0,00
R5 100-200	Efecto			+	+	-					
	% SC Prob F>	77,43 0,0073	8,60 <0,001	30,11 0,1197	0,00 0,1197	30,11 <0,001	0,00 0,2068	4,30 0,1304	4,30 0,1117	0,00 0,7757	0,00
R5 100-300	Efecto			+	+	-					
	% SC Prob F>	84,05 0,0733	9,63 <0,001	30,64 0,1072	2,78 0,1072	28,58 <0,001	2,04 0,1655	4,13 0,4112	5,16 0,3005	0,78 0,9404	0,32
R5 200	Efecto			+	+	-					
	% SC Prob F>	84,32 0,0174	7,98 <0,001	35,11 0,0369	2,68 0,0369	26,63 <0,001	0,88 0,2214	5,23 0,0793	4,48 0,121	0,51 0,9214	0,81
R5 250-450	Efecto			+	+	-	-				
	% SC Prob F>	68,43 0,1656	12,44 0,006	12,44 0,0044	12,44 0,0044	6,22 0,059	12,44 0,0134	6,22 0,572	6,22 0,4589	0,00 0,9821	0,00
R5 300	Efecto			+	+	-					
	% SC Prob F>	80,27 0,0618	5,35 <0,001	32,11 0,0516	5,35 0,0516	26,76 <0,001	0,00 0,2867	5,35 0,2019	5,35 0,2244	0,00 0,9623	0,00

Tabla A6.5: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración del compuesto AP en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas, determinadas por el método de análisis de regresión multivariada. % SC modelo: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales explicado por el modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación positiva (+) o negativa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

AP (mg.g aceite ⁻¹)											
Etapas	Efecto Principal	%SC Modelo	Genotipo	T °C min	PAR (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)	HR (%)	Agua Útil Disponible (mm)	Genotipo × T °C min	Genotipo × PAR	Genotipo × HR	Genotipo × Agua Útil Disponible (mm)
EME-R9	Efecto % SC Prob F>	64,04	32,02 0,0036	+ 8,89 0,0296	0,00 0,5077	3,56 0,1982	1,78 0,2884	8,89 0,2487	1,78 0,9357	3,56 0,7745	3,56 0,665
EME-R1	Efecto % SC Prob F>	66,52	33,26 0,0019	+ 10,50 0,0136	3,50 0,1661	0,00 0,8158	- 7,00 0,0317	1,75 0,784	8,75 0,2479	1,75 0,8368	0,00 0,9912
R1-R5	Efecto % SC Prob F>	65,82	25,52 0,0024	+ 14,77 0,0015	0,00 0,6547	0,00 0,7613	1,34 0,4469	8,06 0,1531	6,72 0,2409	4,03 0,5709	5,37 0,366
R5-15+20	Efecto % SC Prob F>	74,67	24,89 0,0004	+ 19,36 <.0001	0,00 0,9922	5,53 0,0157	2,77 0,0876	8,30 0,0759	2,77 0,477	5,53 0,2304	5,53 0,2666
R5+100	Efecto % SC Prob F>	81,10	24,58 <.0001	+ 24,58 <.0001	0,00 0,7332	11,06 0,0002	- 3,69 0,0148	8,60 0,0137	3,69 0,2639	2,46 0,5246	2,46 0,4146
R5 100-200	Efecto % SC Prob F>	72,23	23,68 0,0002	+ 20,13 <.0001	0,00 0,4288	14,21 0,0002	- 3,55 0,0441	4,74 0,226	2,37 0,6697	2,37 0,6318	1,18 0,697
R5 100-300	Efecto % SC Prob F>	75,52	26,14 0,0008	+ 18,88 0,0002	0,00 0,6172	13,07 0,0011	4,36 0,0516	7,26 0,189	1,45 0,7246	2,90 0,7187	1,45 0,8954
R5 200	Efecto % SC Prob F>	78,75	23,75 <.0001	+ 23,75 <.0001	0,00 0,4576	12,50 0,0002	- 5,00 0,0152	6,25 0,0644	2,50 0,4394	2,50 0,5366	2,50 0,4866
R5 250-450	Efecto % SC Prob F>	68,58	30,86 0,0019	+ 8,57 0,0206	1,71 0,1935	3,43 0,0991	- 8,57 0,0157	8,57 0,2617	3,43 0,6638	3,43 0,663	0,00 0,9982
R5 300	Efecto % SC Prob F>	76,09	24,93 0,0002	+ 20,99 <.0001	0,00 0,5967	11,81 0,0006	- 3,94 0,035	7,87 0,0759	2,62 0,5618	2,62 0,6474	1,31 0,7459

Tabla A6.6: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración del compuesto PI en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas, determinadas por el método de análisis de regresión multivariada. % SC modelo: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales explicado por el modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación positiva (+) o negativa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

PI (mg.g aceite ⁻¹)											
Etapas	Efecto Principal	%SC Modelo	Genotipo	T °C min	PAR (MJ.m ⁻² .día ⁻¹)	HR (%)	Agua Útil Disponible (mm)	Genotipo × T °C min	Genotipo × PAR	Genotipo × HR	Genotipo × Agua Útil Disponible (mm)
EME-R9	Efecto			+		-					
	% SC	74,20	10,13	26,65	1,58	10,16	0,63	23,46	0,45	0,05	1,09
	Prob F>		0,1261	<.0001	0,2772	0,0088	0,4889	0,0055	0,986	0,9998	0,9304
EME-R1	Efecto			+		-					
	% SC	79,53	12,96	10,85	3,77	23,92	0,13	8,70	12,57	6,43	0,19
	Prob F>		0,0636	0,0071	0,0984	0,0002	0,7524	0,1814	0,0699	0,3155	0,9972
R1-R5	Efecto			+		-					
	% SC	79,39	6,72	38,26	2,41	0,16	0,16	18,35	11,26	0,95	1,11
	Prob F>		0,0663	<.0001	0,0696	0,6277	0,6351	0,0005	0,0088	0,843	0,8015
R5-15+20	Efecto			+		-					
	% SC	85,96	7,16	40,09	0,00	9,56	0,05	20,90	4,38	1,35	2,47
	Prob F>		0,0171	<.0001	0,9949	0,0001	0,7629	<.0001	0,0951	0,6181	0,3188
R5+100	Efecto			+		-					
	% SC	87,76	7,38	40,52	0,03	13,51	1,10	15,23	4,49	2,02	3,48
	Prob F>		0,0077	<.0001	0,8034	<.0001	0,1218	<.0001	0,0571	0,3458	0,1197
R5 100-200	Efecto			+		-	-				
	% SC	84,71	6,66	34,48	0,58	24,19	0,77	12,89	3,15	0,26	1,72
	Prob F>		0,0051	<.0001	0,2172	<.0001	0,1542	<.0001	0,0957	0,9462	0,335
R5 100-300	Efecto			+		-					
	% SC	87,60	7,06	34,63	0,41	26,16	0,42	14,47	3,36	0,12	0,98
	Prob F>		0,0283	<.0001	0,4007	<.0001	0,3954	0,0007	0,2278	0,9946	0,7793
R5 200	Efecto			+		-					
	% SC	88,86	7,32	38,92	0,20	19,46	1,17	14,82	3,52	0,36	3,09
	Prob F>		0,0032	<.0001	0,4632	<.0001	0,0836	<.0001	0,0708	0,9096	0,1027
R5 250-450	Efecto			+		-					
	% SC	80,61	9,14	25,55	0,11	17,14	1,40	22,58	3,89	0,22	0,58
	Prob F>		0,0555	<.0001	0,7207	0,0001	0,2165	0,0007	0,3704	0,9924	0,9543
R5 300	Efecto			+		-	-				
	% SC	86,97	7,27	36,68	0,16	21,56	0,38	15,27	3,59	0,30	1,75
	Prob F>		0,0108	<.0001	0,5546	<.0001	0,3687	0,0001	0,1284	0,9545	0,4494

Tabla A6.7: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración del compuesto PC en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas, determinadas por el método de análisis de regresión multivariada. % SC modelo: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales explicado por el modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación positiva (+) o negativa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

PC (mg.g aceite ⁻¹)											
Etapas	Efecto Principal	%SC Modelo	Genotipo	T °C min	PAR (MJ.m ⁻² .día ⁻¹)	HR (%)	Agua Útil Disponible (mm)	Genotipo × T °C min	Genotipo × PAR	Genotipo × HR	Genotipo × Agua Útil Disponible (mm)
EME-R9	Efecto % SC Prob F>	63,88 0,0012	40,20 0,0012	10,38 0,0189	0,29 0,6829	1,11 0,4229	5,20 0,0891	3,39 0,7336	0,40 0,9932	1,75 0,9014	1,15 0,9514
EME-R1	Efecto % SC Prob F>	62,97 0,0012	34,00 0,0012	15,10 0,0028	2,31 0,213	0,01 0,9521	6,54 0,0404	1,11 0,939	3,15 0,699	0,67 0,9754	0,09 0,9995
R1-R5	Efecto % SC Prob F>	64,98 0,0009	31,08 0,0009	21,22 0,0003	0,35 0,6036	0,15 0,7337	2,98 0,1339	3,81 0,5596	2,13 0,7892	1,41 0,8873	1,86 0,8275
R5-15+20	Efecto % SC Prob F>	74,11 <0,001	28,30 <0,001	25,96 <0,001	0,20 0,6271	2,56 0,0891	8,83 0,0027	3,23 0,4365	0,98 0,8777	2,94 0,4831	1,11 0,8513
R5+100	Efecto % SC Prob F>	77,64 <0,001	25,21 <0,001	28,13 <0,001	0,18 0,6172	6,78 0,0039	9,02 0,0011	4,68 0,1796	1,31 0,7573	1,68 0,662	0,65 0,9177
R5 100-200	Efecto % SC Prob F>	72,39 <0,001	23,86 <0,001	23,49 <0,001	0,89 0,2597	11,67 0,0002	7,66 0,002	2,19 0,5261	0,61 0,9211	1,69 0,646	0,35 0,97
R5 100-300	Efecto % SC Prob F>	75,96 0,0002	28,88 0,0002	21,98 <0,001	0,63 0,4083	10,01 0,0023	8,91 0,0037	2,83 0,5418	0,74 0,9324	1,73 0,749	0,24 0,9912
R5 200	Efecto % SC Prob F>	78,14 <0,001	25,84 <0,001	27,04 <0,001	0,71 0,3038	8,64 0,001	9,76 0,0005	2,95 0,3571	0,91 0,8401	1,74 0,6157	0,55 0,929
R5 250-450	Efecto % SC Prob F>	64,40 0,0011	31,48 0,0011	14,56 0,0023	1,67 0,2679	0,66 0,4824	10,86 0,0073	2,45 0,7592	0,83 0,9577	1,27 0,9127	0,61 0,976
R5 300	Efecto % SC Prob F>	75,37 <0,001	27,23 <0,001	24,33 <0,001	0,52 0,4163	8,11 0,0028	8,86 0,0019	3,46 0,3616	0,87 0,8871	1,62 0,715	0,35 0,9759

Capítulo 7: Tocoferoles

Tabla A7.1: Contribuciones de los factores G, E y GxE a la varianza total para el contenido de tocoferoles en grano y de la concentración en aceite de tocoferoles totales y de los isómeros α -tocoferol y β -tocoferol en función de los diferentes genotipos y de las agrupaciones de ambientes seleccionados en función de los resultados del Cap. III. Todos los modelos de análisis de la varianza fueron altamente significativos ($p < 0,0001$). * Diferencias significativas ($p < 0,05$). Valores seguidos de letras diferentes dentro de la misma columna y agrupación, difieren estadísticamente ($p < 0,05$). El porcentaje de la variabilidad explicada por cada efecto principal fue calculado en función de la razón entre la Suma de cuadrados de cada efecto dividido la suma de cuadrados totales por 100. Loc = Localidades (repeticiones) efecto anidado en cada grupo. Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

		tocoferoles en granos ($\mu\text{g.grano}^{-1}$)	α-tocoferol ($\mu\text{g.g aceite}^{-1}$)	β-tocoferol ($\mu\text{g.g aceite}^{-1}$)	tocoferoles en aceite ($\mu\text{g.g aceite}^{-1}$)
	R2	0,577	0,747	0,802	0,747
	Suma de cuadrados totales	216,5	705882	797,5	734851
Genotipo	% variabilidad explicada por genotipo				
		11% *	20% *	20% *	20% *
	Valores medios estimados				
	DK3820	16,60 AB	589 B	3 B	593 B
	DK3880	15,69 B	698 A	5 B	703 A
	DK3920	17,99 A	691 A	7 A	698 A
	DK4000	17,24 A	700 A	4 B	703 A
	DK4200	16,88 AB	599 B	4 B	603 B
Agrupaciones	Efectos Principales/Clústeres				
Productividad media	% variabilidad explicada por cada efecto principal				
	Ambiente	6%	14%	24% *	14%
	Loc (ambiente)	29%	40%	30%	39%
	Ambiente x Genotipo	6%	2%	6%	2%
	Valores medios estimados				
	Alto	17,19 A	677,68 A	5,32 AB	682,83 A
	Medio	15,95 A	752,79 A	8,95 A	761,73 A
	Bajo	17,18 A	626,38 A	3,35 B	629,77 A
Zona Agroecológica	% variabilidad explicada por cada efecto principal				
	Ambiente	4%	34% *	24% *	34% *
	Loc (ambiente)	31%	19%	30%	19%
	Ambiente x Genotipo	15%	3%	7%	3%
	Valores medios estimados				
	NEA	16,38 A	580,18 B	2,26 B	582,50 B
	OESTE	17,43 A	640,03 B	4,79 AB	644,82 B
	SUR	16,83 A	746,06 A	7,24 A	753,10 A
Nitrogeno disponible	% variabilidad explicada por cada efecto principal				
	Ambiente	2%	37% *	18%	38% *
	Loc (ambiente)	26%	12%	29%	12%
	Ambiente x Genotipo	14%	6%	4%	6%
	Valores medios estimados				
	Optimo	17,63 A	698,30 AB	5,77 A	703,59 AB
	Alto	17,50 A	773,32 A	8,36 A	781,67 A
	bajo	16,98 A	613,78 B	4,55 A	618,32 B

Tabla A7.2: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración de tocoferoles totales en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas, determinadas por el método de análisis de regresión multivariada. % SC modelo: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales explicado por el modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación positiva (+) o negativa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Tocoferoles totales en aceite ($\mu\text{g.g aceite}^{-1}$)											
Etapas	Efecto Principal	%SC Modelo	Genotipo	T °C min	PAR ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$)	HR (%)	Agua Útil Disponible (mm)	Genotipo × T °C min	Genotipo × PAR	Genotipo × HR	Genotipo × Agua Útil Disponible (mm)
EME-R9	Efecto % SC Prob F>	81,99	36,20 <.0001	- 7,21 0,0036	- 0,69 0,337	+ 30,38 <.0001	- 3,76 0,0299	0,22 0,989	0,45 0,9594	1,57 0,7057	1,51 0,7202
EME-R1	Efecto % SC Prob F>	56,49	41,13 0,0029	6,63 0,0793	0,02 0,9316	5,79 0,0999	0,47 0,6332	0,05 0,9999	2,36 0,8795	0,04 0,9999	0,03 1
R1-R5	Efecto % SC Prob F>	89,92	26,47 <.0001	- 24,68 <.0001	- 7,74 <.0001	+ 18,84 <.0001	- 8,53 <.0001	0,09 0,989	0,42 0,8396	1,48 0,3147	1,67 0,2592
R5-15+20	Efecto % SC Prob F>	85,63	31,59 <.0001	- 19,80 <.0001	- 6,00 0,0017	+ 22,08 <.0001	- 0,90 0,192	0,31 0,9605	0,43 0,9298	2,86 0,2542	1,67 0,5207
R5+100	Efecto % SC Prob F>	78,10	32,27 <.0001	- 18,95 <.0001	- 6,73 0,0057	+ 16,29 <.0001	+ 0,01 0,902	0,98 0,86	0,30 0,9816	1,92 0,6433	0,63 0,9326
R5 100-200	Efecto % SC Prob F>	78,07	33,85 0,0001	- 15,26 0,0006	- 3,96 0,0608	+ 21,59 <.0001	- 0,07 0,795	0,37 0,985	1,34 0,8615	1,11 0,8967	0,51 0,9732
R5 100-300	Efecto % SC Prob F>	72,12	30,24 <.0001	- 15,96 <.0001	- 3,47 0,0422	+ 20,11 <.0001	- 0,18 0,6358	0,16 0,9949	0,67 0,9265	1,10 0,8381	0,23 0,9895
R5 200	Efecto % SC Prob F>	76,34	31,84 <.0001	- 16,33 <.0001	- 4,84 0,0206	+ 20,02 <.0001	- 0,02 0,8708	0,20 0,9926	0,63 0,9389	1,79 0,699	0,66 0,9338
R5 250-450	Efecto % SC Prob F>	83,31	38,32 <.0001	- 10,41 0,0006	- 12,01 0,0003	+ 7,57 0,0029	+ 12,05 0,0003	0,65 0,9217	0,36 0,9717	1,80 0,6461	0,14 0,9953
R5 300	Efecto % SC Prob F>	78,97	33,17 <.0001	- 17,66 <.0001	- 4,84 0,0182	+ 20,38 <.0001	- 0,03 0,8465	0,29 0,9838	0,51 0,9546	1,64 0,7155	0,45 0,9642

Tabla A7.3 Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración de α -tocoferol en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas, determinadas por el método de análisis de regresión multivariada. % SC modelo: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales explicado por el modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación positiva (+) o negativa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Ver índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

α -tocoferol ($\mu\text{g.g aceite}^{-1}$)											
Etapas	Efecto Principal	%SC Modelo	Genotipo	T °C min	PAR (MJ.m ⁻² .día ⁻¹)	HR (%)	Agua Útil Disponible (mm)	Genotipo × T °C min	Genotipo × PAR	Genotipo × HR	Genotipo × Agua Útil Disponible (mm)
EME-R9	Efecto % SC Prob F>	81,59	36,21 <.0001	- 7,12 0,0039	- 0,78 0,3107	+ 29,74 <.0001	- 4,00 0,026	0,27 0,9843	0,43 0,9628	1,54 0,7158	1,51 0,7246
EME-R1	Efecto % SC Prob F>	56,38	41,25 0,0027	6,54 0,0803	0,02 0,9254	5,56 0,1053	0,43 0,6464	0,06 0,9999	2,46 0,8704	0,04 0,9999	0,03 1
R1-R5	Efecto % SC Prob F>	89,51	26,66 <.0001	- 24,14 <.0001	- 7,74 <.0001	+ 18,48 <.0001	- 8,73 <.0001	0,12 0,9837	0,48 0,8155	1,49 0,33	1,67 0,2741
R5-15+20	Efecto % SC Prob F>	85,24	31,85 <.0001	- 19,16 <.0001	- 5,94 0,002	+ 21,85 <.0001	- 1,04 0,1668	0,37 0,9488	0,47 0,9207	2,87 0,2621	1,69 0,5251
R5+100	Efecto % SC Prob F>	77,90	32,66 <.0001	- 18,32 <.0001	- 6,77 0,0058	+ 16,21 <.0001	0,00 0,9749	1,00 0,8571	0,33 0,9787	1,94 0,6421	0,66 0,9279
R5 100-200	Efecto % SC Prob F>	77,72	34,13 0,0001	- 14,47 0,0008	- 4,02 0,059	+ 21,54 <.0001	0,15 0,7067	0,38 0,9849	1,40 0,8522	1,11 0,8974	0,53 0,9718
R5 100-300	Efecto % SC Prob F>	71,98	30,69 <.0001	- 15,24 0,0001	- 3,55 0,0419	+ 20,20 <.0001	0,10 0,7302	0,17 0,9942	0,71 0,9217	1,09 0,8431	0,24 0,9892
R5 200	Efecto % SC Prob F>	76,17	32,16 <.0001	- 15,65 0,0001	- 4,90 0,0202	+ 20,00 <.0001	0,06 0,7848	0,23 0,9903	0,68 0,9322	1,79 0,7009	0,69 0,9303
R5 250-450	Efecto % SC Prob F>	82,70	38,82 <.0001	- 9,82 0,001	- 11,85 0,0004	+ 7,63 0,0032	+ 11,51 0,0005	0,72 0,9118	0,41 0,9675	1,81 0,6606	0,14 0,9956
R5 300	Efecto % SC Prob F>	78,67	33,50 <.0001	- 16,87 <.0001	- 4,91 0,0181	+ 20,41 <.0001	0,00 0,9426	0,33 0,9804	0,55 0,9498	1,64 0,7198	0,46 0,9628

Tabla A7.4: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración de β -tocoferol en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas, determinadas por el método de análisis de regresión multivariada. % SC modelo: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales explicado por el modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación positiva (+) o negativa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

β -tocoferol ($\mu\text{g.g aceite}^{-1}$)											
Etapas	Efecto Principal	%SC Modelo	Genotipo	T °C min	PAR ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$)	HR (%)	Agua Útil Disponible (mm)	Genotipo \times T °C min	Genotipo \times PAR	Genotipo \times HR	Genotipo \times Agua Útil Disponible (mm)
EME-R9	Efecto % SC Prob F>	84,91	42,42 <.0001	2,27 0,0924	2,71 0,0677	23,63 <.0001	1,85 0,1277	5,21 0,1708	2,32 0,5521	3,13 0,4069	1,38 0,7667
EME-R1	Efecto % SC Prob F>	60,20	43,97 0,0025	3,70 0,1938	0,30 0,7089	6,24 0,0942	2,38 0,2933	1,23 0,9629	0,38 0,9957	1,97 0,9155	0,03 1
R1-R5	Efecto % SC Prob F>	87,48	31,66 <.0001	- <.0001	- 0,0387	19,09 <.0001	0,23 0,4779	5,72 0,0307	2,49 0,277	1,49 0,5309	1,97 0,3911
R5-15+20	Efecto % SC Prob F>	86,46	32,81 <.0001	- <.0001	- 0,0225	14,19 <.0001	3,79 0,0109	4,30 0,1065	1,19 0,6809	2,44 0,3378	0,91 0,7746
R5+100	Efecto % SC Prob F>	77,08	27,72 0,0001	- <.0001	1,42 0,1971	8,66 0,0027	7,57 0,0047	6,18 0,1354	0,59 0,946	1,24 0,8202	0,04 0,9998
R5 100-200	Efecto % SC Prob F>	87,12	29,01 <.0001	- <.0001	0,25 0,5627	7,40 0,0032	14,82 <.0001	4,77 0,187	0,49 0,9527	2,37 0,5201	0,09 0,9978
R5 100-300	Efecto % SC Prob F>	80,17	26,47 <.0001	- <.0001	0,27 0,4284	6,02 0,0006	15,01 <.0001	3,78 0,0823	0,35 0,9322	1,98 0,3314	0,05 0,9982
R5 200	Efecto % SC Prob F>	79,61	29,14 <.0001	- <.0001	0,56 0,3712	7,78 0,0021	10,48 0,0005	4,28 0,2108	0,44 0,9561	1,97 0,5881	0,07 0,9983
R5 250-450	Efecto % SC Prob F>	89,03	32,77 <.0001	- <.0001	- 0,0002	1,90 0,0432	21,44 <.0001	2,16 0,3025	1,03 0,6654	2,04 0,3334	0,10 0,9922
R5 300	Efecto % SC Prob F>	84,69	29,72 <.0001	- <.0001	0,54 0,3293	6,51 0,0016	13,31 <.0001	4,33 0,121	0,43 0,9399	1,87 0,5008	0,04 0,9991

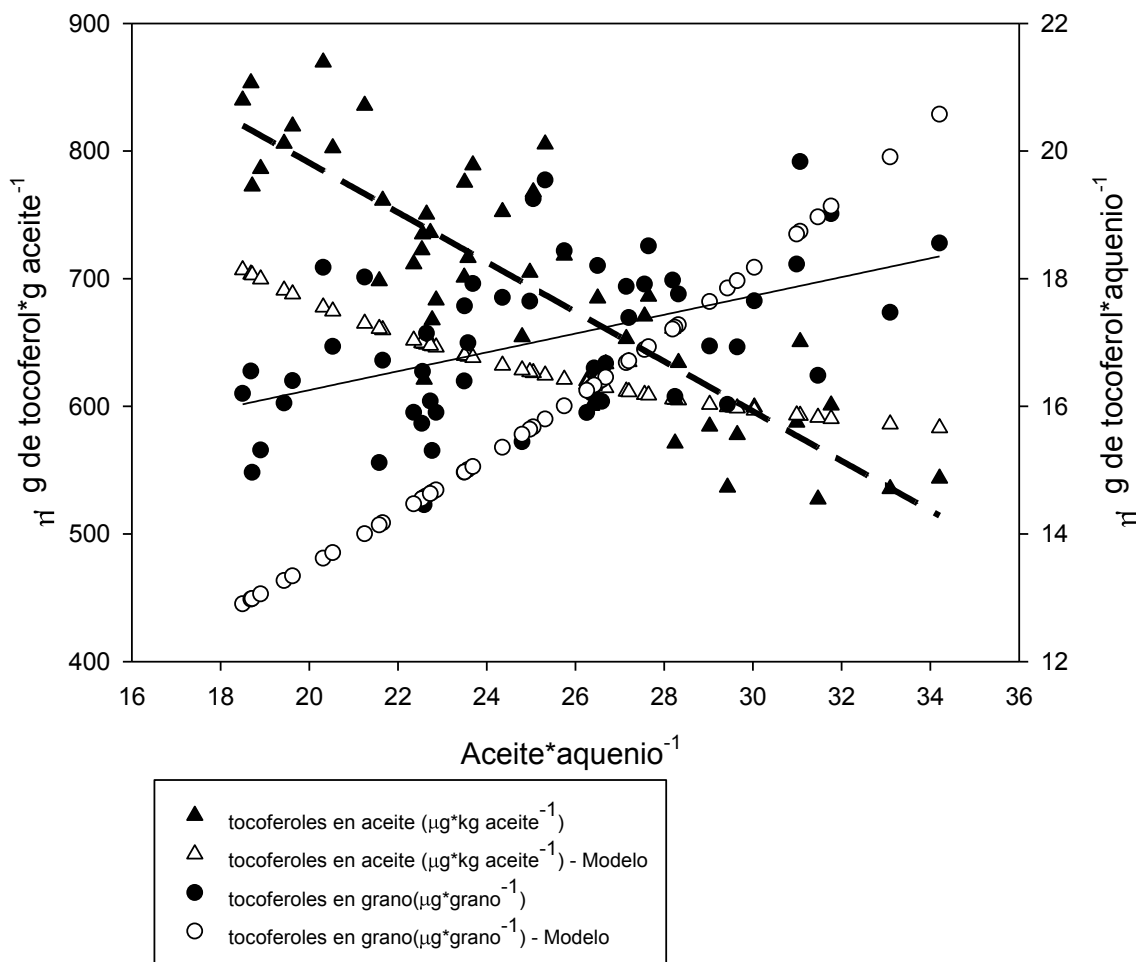


Figura A7.1: Cambios en la concentración de tocoferoles en aceite y en la cantidad de tocoferoles por aquenio en función de la cantidad de aceite por aquenio. a = valor de la ordenada al origen, b = pendiente de la función. Línea punteada representa la función ajustada del cambio en la concentración de tocoferoles en aceite en función de la cantidad de aceite por aquenio ($R^2=0.7302$, $p<0.0001$, $a=1180 \pm 42.62$, $b=-19.465 \pm 1.673$). Línea continua representa la función del cambio en el contenido de tocoferoles al variar la cantidad de aceite por grano ($R^2=0.231$, $p=0.003$, $a=-13.04 \pm 0.971$, $b=0.1475 \pm 0.0381$). Triángulos vacíos representan valores esperados de concentración de tocoferoles en aceite y círculos vacíos representan los valores esperados de tocoferoles en granos en función de la variación del peso de aceite por grano, utilizando los modelos presentados por Nolasco *et al* (2004).

Tabla A7.5: Análisis de correlación entre tocoferoles ($\mu\text{g.g aceite}^{-1}$), α -tocoferol ($\mu\text{g.g aceite}^{-1}$) y β -tocoferol ($\mu\text{g.g aceite}^{-1}$) con las características fenotípicas y ambientales detalladas en la tabla. n= número de observaciones, Pearson=Coficiente de correlación entre la característica detallada como título de columna y la característica detallada en cada fila, p-valor: expresa el grado de significancia de cada coeficiente. Los valores de estabilidad oxidativa no incluyen a la zona NEA. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Característica	n	tocoferoles ($\mu\text{g.g aceite}^{-1}$)		α -tocoferol ($\mu\text{g.g aceite}^{-1}$)		β -tocoferol ($\mu\text{g.g aceite}^{-1}$)	
		Pearson	p-valor	Pearson	p-valor	Pearson	p-valor
rendimiento aceite (kg.ha^{-1})	55	0,04	0,7657	0,03	0,8193	0,31	0,0218
NG (granos. m^{-2})	55	0,56	<0,0001	0,55	<0,0001	0,6	<0,0001
PG (mg.grano^{-1})	55	-0,82	<0,0001	-0,82	<0,0001	-0,59	<0,0001
granos por planta	55	0,58	<0,0001	0,58	<0,0001	0,47	0,0003
hojas verdes R7 (%)	55	-0,31	0,0229	-0,31	0,0201	0,01	0,9409
Aceite (%)	55	-0,15	0,2869	-0,15	0,2629	0,13	0,3456
proteínas (%)	55	-0,34	0,0103	-0,34	0,0107	-0,24	0,0786
aceite por grano (mg.grano^{-1})	55	-0,83	<0,0001	-0,83	<0,0001	-0,49	0,0001
proteínas(%) /aceite(%)	55	-0,23	0,088	-0,23	0,0937	-0,25	0,0684
casaca (%)	55	0,3	0,0268	0,3	0,0239	-0,02	0,8966
Cascara (mg.grano^{-1})	55	-0,5	0,0001	-0,49	0,0001	-0,49	0,0002
aptitud al descascarado (%)	55	-0,16	0,2506	-0,15	0,2882	-0,45	0,0005
%aceite/Cascara (mg.grano^{-1})	55	0,32	0,0181	0,31	0,0208	0,4	0,0022
ceras en grano (mg.grano^{-1})	55	-0,63	<0,0001	-0,63	<0,0001	-0,36	0,0066
ceras en aceite ($\mu\text{g.g aceite}^{-1}$)	55	0,28	0,0363	0,28	0,036	0,17	0,2086
fosfolípidos (mg.g aceite^{-1})	55	-0,56	<0,0001	-0,56	<0,0001	-0,39	0,0029
PE (mg.g aceite^{-1})	55	-0,61	<0,0001	-0,61	<0,0001	-0,41	0,0021
AP (mg.g aceite^{-1})	55	-0,5	0,0001	-0,5	0,0001	-0,34	0,0122
PI (mg.g aceite^{-1})	55	-0,56	<0,0001	-0,56	<0,0001	-0,36	0,0078
PC (mg.g aceite^{-1})	55	-0,41	0,0021	-0,4	0,0024	-0,39	0,003
tocoferoles ($\mu\text{g.g aceite}^{-1}$)	55	1	<0,0001	1	<0,0001	0,64	<0,0001
a-tocoferol ($\mu\text{g.g aceite}^{-1}$)	55	1	<0,0001	1	<0,0001	0,62	<0,0001
b-tocoferol ($\mu\text{g.g aceite}^{-1}$)	55	0,64	<0,0001	0,62	<0,0001	1	<0,0001
ácidos saturados (%)	55	0,01	0,9428	0,01	0,9385	-0,03	0,8526
mirístico (%)	55	0,41	0,0017	0,41	0,0017	0,25	0,0709
palmitico (%)	55	0,08	0,578	0,08	0,5764	0,02	0,913
estearico (%)	55	-0,08	0,5777	-0,08	0,5862	-0,09	0,5161
oleico (%)	50	-0,37	0,0087	-0,36	0,0104	-0,44	0,0015
linoleico (%)	55	0,44	0,0009	0,43	0,0011	0,5	0,0001
linolenico (%)	55	0,27	0,0443	0,26	0,0549	0,52	<0,0001
índice de Iodo	55	0,45	0,0006	0,44	0,0007	0,52	<0,0001
estabilidad oxidativa (h)	45	-0,09	0,5364	-0,09	0,5515	-0,15	0,3134
T °C min- R1 - R5	55	-0,44	0,0007	-0,44	0,0009	-0,44	0,0008
PAR- R1 - R5	55	-0,3	0,0268	-0,3	0,0282	-0,26	0,057
HR- R1 - R5	55	0,49	0,0001	0,48	0,0002	0,55	<0,0001
Agua Útil Disponible (mm)-R1 - R5	55	0,16	0,2474	0,15	0,2737	0,37	0,0052
Lluvia (mm)-SUM R1 - R5	55	-0,25	0,065	-0,25	0,0689	-0,26	0,0587
T °C min- R5+100-300	55	-0,34	0,0116	-0,33	0,0131	-0,35	0,0084
PAR- R5+100-300	55	-0,44	0,0007	-0,44	0,0008	-0,37	0,005
HR- R5+100-300	55	0,36	0,0071	0,36	0,0073	0,27	0,0484
Agua Útil Disponible (mm)-R5+100-300	55	0,11	0,4412	0,1	0,4719	0,32	0,0161
Lluvia (mm)-SUM R5+100-300..	55	0,33	0,0143	0,33	0,0142	0,24	0,0807
T °C min- R5+250-450	55	-0,39	0,0031	-0,38	0,0038	-0,47	0,0003
PAR- R5+250-450	55	-0,47	0,0003	-0,47	0,0003	-0,37	0,0049
HR- R5+250-450	55	0,47	0,0003	0,47	0,0003	0,37	0,0056
Agua Útil Disponible (mm)-R5+250-450	55	0,2	0,1507	0,19	0,1601	0,29	0,0326
Lluvia (mm)-SUM R5+250-450..	55	0,02	0,8759	0,03	0,8451	-0,19	0,1563
T °C min- R5+300	55	-0,35	0,0082	-0,35	0,0091	-0,33	0,0139
PAR- R5+300	55	-0,42	0,0012	-0,42	0,0014	-0,36	0,0063
HR- R5+300	55	0,34	0,0106	0,34	0,011	0,3	0,0288
Agua Útil Disponible (mm)-R5+300	55	0,09	0,4996	0,09	0,5322	0,31	0,0207
Lluvia (mm)-SUM R5+300	55	0,26	0,0514	0,26	0,0516	0,21	0,1231
N ($\text{kg}\times\text{ha}^{-1}$)	55	0,69	<0,0001	0,69	<0,0001	0,56	<0,0001

Capítulo 8: Composición ácida

A. Ácidos grasos saturados

Tabla A8.1: Contribuciones de los factores G, E y GxE a la varianza total para la concentración de los ácidos grasos saturados en aceite en función de los diferentes genotipos y de las agrupaciones de ambientes seleccionados en función de los resultados del Cap. III. Todos los modelos de análisis de la varianza fueron altamente significativos ($p < 0,0001$). * Diferencias significativas ($p < 0,05$). Valores seguidos de letras diferentes dentro de la misma columna y agrupación, difieren estadísticamente ($p < 0,05$). El porcentaje de la variabilidad explicada por cada efecto principal fue calculado en función de la razón entre la Suma de cuadrados de cada efecto dividido la suma de cuadrados totales por 100. Loc = Localidades (repeticiones) efecto anidado en cada grupo. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

		esteárico (%)	palmitico (%)	mirístico (%)	ácidos saturados
R2		0,655	0,871	0,880	0,856
Suma de cuadrados totales		13,92	17,89	0,01	46,21
Genotipo	% variabilidad explicada por genotipo				
		17% *	7% *	6% *	11%
	Valores medios estimados				
	DK3820	3,74 C	6,20 B	0,08 B	10,02 C
	DK3880	4,39 A	6,15 B	0,08 B	10,61 AB
	DK3920	3,90 BC	6,16 B	0,09 A	10,15 C
	DK4000	4,20 AB	6,51 A	0,09 A	10,79 A
DK4200	4,15 AB	6,02 B	0,08 B	10,25 BC	
Agrupaciones	Efectos Principales/Clústeres				
Productividad media	% variabilidad explicada por cada efecto principal				
	Ambiente	1%	9%	29% *	6%
	Loc (ambiente)	45%	67%	47%	67%
	Ambiente x Genotipo	1%	2%	6%	1%
	Valores medios estimados				
	Alto	4,11 A	6,37 A	0,09 A	10,57 A
	Medio	4,13 A	6,41 A	0,09 A	10,63 A
Bajo	3,99 A	6,01 A	0,08 B	10,08 A	
Zona Agroecológica	% variabilidad explicada por cada efecto principal				
	Ambiente	5%	16%	35% *	12%
	Loc (ambiente)	41%	60%	42%	61%
	Ambiente x Genotipo	4%	4%	5%	1%
	Valores medios estimados				
	NEA	4,0 A	5,8 A	0,072 B	9,9 A
	OESTE	4,2 A	6,5 A	0,088 AB	10,8 A
SUR	4,0 A	6,3 A	0,094 A	10,4 A	
Nitrogeno disponible	% variabilidad explicada por cada efecto principal				
	Ambiente	31%	32%	57% *	38%
	Loc (ambiente)	38%	45%	12%	40%
	Ambiente x Genotipo	9%	2%	6%	3%
	Valores medios estimados				
	Optimo	4,27 A	6,58 A	0,10 A	10,95 A
	Alto	3,75 A	5,92 A	0,08 B	9,75 A
baio	4,32 A	6,54 A	0,09 B	10,95 A	

Tabla A8.2: Análisis de correlación entre ácidos saturados (%), ácido mirístico (%), ácido palmítico (%) y ácido esteárico (%) con las características fenotípicas y ambientales detalladas en la tabla. n= número de observaciones, Pearson=Coeficiente de correlación entre la característica detallada como título de columna y la característica detallada en cada fila, p-valor: expresa el grado de significancia de cada coeficiente. Los valores de estabilidad oxidativa no incluyen a la zona NEA. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Característica	n	ácidos saturados (%)		mirístico (%)		palmítico (%)		estearico (%)	
		Pearson	p-valor	Pearson	p-valor	Pearson	p-valor	Pearson	p-valor
rendimiento aceite (kg.ha ⁻¹)	55	0,14	0,3024	0,49	0,0001	0,25	0,0661	-0,07	0,5975
NG (granos.m ⁻²)	55	0,08	0,5627	0,6	<0,0001	0,22	0,1121	-0,15	0,2854
PG (mg.grano ⁻¹)	55	-0,08	0,5778	-0,43	0,001	-0,2	0,1464	0,11	0,4389
granos por planta	55	-0,33	0,014	0,41	0,0019	-0,19	0,1724	-0,44	0,0007
hojas verdes R7 (%)	55	0,7	<0,0001	0,37	0,005	0,61	<0,0001	0,6	<0,0001
Aceite (%)	55	0,04	0,7765	0,25	0,067	0,21	0,1271	-0,22	0,1033
proteínas (%)	55	-0,43	0,001	-0,86	<0,0001	-0,6	<0,0001	-0,07	0,6061
aceite por grano (mg.grano ⁻¹)	55	-0,04	0,7923	-0,27	0,0422	-0,07	0,5987	0,01	0,9407
proteínas(%) /aceite(%)	55	-0,36	0,0067	-0,8	<0,0001	-0,57	<0,0001	0,04	0,7861
casara (%)	55	0,35	0,0093	0,46	0,0004	0,28	0,0414	0,37	0,0058
Cascara (mg.grano ⁻¹)	55	0,13	0,3498	-0,09	0,5245	-0,02	0,9015	0,3	0,0267
aptitud al descascarado (%)	55	-0,16	0,2307	-0,26	0,0582	-0,3	0,0265	0,08	0,5419
%aceite/Cascara (mg.grano ⁻¹)	55	-0,17	0,2141	0,08	0,5513	0,01	0,9681	-0,37	0,0049
ceras en grano (mg.grano ⁻¹)	55	-0,25	0,0679	-0,28	0,0412	-0,18	0,1987	-0,29	0,0289
ceras en aceite (µg.g aceite ⁻¹)	55	-0,35	0,0093	-0,02	0,8576	-0,2	0,1432	-0,46	0,0004
fosfolípidos (mg.g aceite ⁻¹)	55	0,16	0,25	-0,26	0,0599	0,09	0,5309	0,22	0,1076
PE (mg.g aceite ⁻¹)	55	0,18	0,1773	-0,27	0,0428	0,14	0,3187	0,21	0,1307
AP (mg.g aceite ⁻¹)	55	0,13	0,3411	-0,21	0,1205	0,05	0,7016	0,21	0,1292
PI (mg.g aceite ⁻¹)	55	0,09	0,5336	-0,29	0,0341	0,09	0,5287	0,07	0,6234
PC (mg.g aceite ⁻¹)	55	0,19	0,1537	-0,22	0,1067	0,08	0,5506	0,31	0,0234
tocoferoles (µg.g aceite ⁻¹)	55	0,01	0,9428	0,41	0,0017	0,08	0,578	-0,08	0,5777
a-tocoferol (µg.g aceite ⁻¹)	55	0,01	0,9385	0,41	0,0017	0,08	0,5764	-0,08	0,5862
b-tocoferol (µg.g aceite ⁻¹)	55	-0,03	0,8526	0,25	0,0709	0,02	0,913	-0,09	0,5161
ácidos saturados (%)	55	1	<0,0001	0,62	<0,0001	0,92	<0,0001	0,83	<0,0001
mirístico (%)	55	0,62	<0,0001	1	<0,0001	0,78	<0,0001	0,21	0,129
palmítico (%)	55	0,92	<0,0001	0,78	<0,0001	1	<0,0001	0,55	<0,0001
estearico (%)	55	0,83	<0,0001	0,21	0,129	0,55	<0,0001	1	<0,0001
oleico (%)	50	-0,5	0,0002	-0,78	<0,0001	-0,65	<0,0001	-0,16	0,2724
linoleico (%)	55	0,43	0,001	0,73	<0,0001	0,6	<0,0001	0,07	0,602
linolenico (%)	55	0,48	0,0002	0,58	<0,0001	0,52	0,0001	0,29	0,0327
índice de Iodo	55	0,36	0,0064	0,7	<0,0001	0,54	<0,0001	4,40E-03	0,9747
estabilidad oxidativa (h)	45	-0,08	0,6007	-0,29	0,0531	-0,27	0,0681	0,2	0,1836
T °C min- R1 - R5	55	-0,17	0,2146	-0,59	<0,0001	-0,28	0,0392	0,03	0,8331
PAR- R1 - R5	55	-0,16	0,2292	-0,18	0,188	-0,2	0,1459	-0,08	0,5543
HR- R1 - R5	55	-0,25	0,067	-0,19	0,1703	-0,2	0,1351	-0,23	0,0847
Agua Útil Disponible (mm)-R1 - R5	55	0,04	0,7684	-0,06	0,6375	0,07	0,5974	0,01	0,9267
Lluvia (mm)-SUM R1 - R5	55	0,47	0,0003	0,12	0,4016	0,47	0,0003	0,36	0,0069
T °C min- R5+100-300	55	-0,57	<0,0001	-0,84	<0,0001	-0,65	<0,0001	-0,29	0,0316
PAR- R5+100-300	55	0,04	0,7789	-0,14	0,3252	4,10E-03	0,9763	0,06	0,6377
HR- R5+100-300	55	-0,78	<0,0001	-0,46	0,0005	-0,76	<0,0001	-0,57	<0,0001
Agua Útil Disponible (mm)-R5+100-300	55	-0,32	0,0173	-0,56	<0,0001	-0,37	0,0051	-0,15	0,2901
Lluvia (mm)-SUM R5+100-300..	55	-0,56	<0,0001	-0,35	0,0096	-0,52	0,0001	-0,45	0,0006
T °C min- R5+250-450	55	-0,45	0,0006	-0,68	<0,0001	-0,56	<0,0001	-0,18	0,1809
PAR- R5+250-450	55	-0,12	0,3995	-0,35	0,0098	-0,16	0,2579	-0,02	0,8642
HR- R5+250-450	55	-0,34	0,0106	0,08	0,5383	-0,36	0,0073	-0,26	0,0575
Agua Útil Disponible (mm)-R5+250-450	55	-0,63	<0,0001	-0,57	<0,0001	-0,61	<0,0001	-0,47	0,0003
Lluvia (mm)-SUM R5+250-450..	55	-0,26	0,0588	0,14	0,2976	-0,11	0,4455	-0,38	0,004
T °C min- R5+300	55	-0,48	0,0002	-0,83	<0,0001	-0,57	<0,0001	-0,22	0,1092
PAR- R5+300	55	0,06	0,6898	-0,12	0,3869	7,40E-04	0,9957	0,1	0,4616
HR- R5+300	55	-0,74	<0,0001	-0,47	0,0003	-0,74	<0,0001	-0,53	<0,0001
Agua Útil Disponible (mm)-R5+300	55	-0,25	0,0694	-0,51	0,0001	-0,29	0,0295	-0,1	0,479
Lluvia (mm)-SUM R5+300	55	-0,56	<0,0001	-0,46	0,0004	-0,57	<0,0001	-0,37	0,0056
N (kg×ha ⁻¹)	55	-0,25	0,0604	0,16	0,2392	-0,13	0,3327	-0,34	0,0103

Tabla A8.3: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración de ácidos grasos saturados en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas, determinadas por el método

de análisis de regresión multivariada. % SC modelo: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales explicado por el modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación positiva (+) o negativa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Ácidos grasos saturados Totales (%)											
Etapas	Efecto Principal	%SC Modelo	Genotipo	T °C min	PAR (MJ.m ⁻² .día ⁻¹)	HR (%)	Agua Útil Disponible (mm)	Genotipo × T °C min	Genotipo × PAR	Genotipo × HR	Genotipo × Agua Útil Disponible (mm)
EME-R9	Efecto % SC Prob F>	62,16	11,10 0,1247	- 25,35 0,0002	1,41 0,3232	- 22,97 0,0004	0,29 0,6484	0,24 0,9962	0,29 0,9945	0,25 0,9958	0,26 0,9955
EME-R1	Efecto % SC Prob F>	12,85	4,74 0,16	- 3,29 0,0344	- 4,21 0,018	- 0,02 0,88	0,41 0,4387	0,02 0,9999	0,07 0,9985	0,10 0,9971	0,01 1
R1-R5	Efecto % SC Prob F>	13,33	2,26 0,168	- 1,04 0,0833	2,52 0,0097	- 6,08 0,0002	1,11 0,0744	0,13 0,9817	0,06 0,9952	0,04 0,9977	0,08 0,9925
R5-15+20	Efecto % SC Prob F>	49,27	8,89 0,0383	- 4,63 0,0197	0,14 0,6711	- 32,89 <0,001	1,84 0,1291	0,18 0,9928	0,06 0,999	0,33 0,9773	0,30 0,9812
R5+100	Efecto % SC Prob F>	50,50	7,73 0,0351	- 3,16 0,0343	0,89 0,2474	- 31,02 <0,001	+	5,62 0,0063	1,43 0,6902	0,50 0,9376	0,11 0,9961
R5 100-200	Efecto % SC Prob F>	70,62	16,43 0,0009	- 8,69 0,001	0,34 0,4644	- 33,54 <0,001	+	10,46 0,0004	0,15 0,9926	0,20 0,9877	0,31 0,9368
R5 100-300	Efecto % SC Prob F>	81,18	17,01 0,0001	- 14,51 <0,001	1,64 0,0772	- 42,99 <0,001	+	3,82 0,0094	0,28 0,9647	0,06 0,9981	0,65 0,8507
R5 200	Efecto % SC Prob F>	64,31	10,94 0,0067	- 6,59 0,0028	0,42 0,4083	- 36,37 <0,001	+	8,92 0,0007	0,46 0,9405	0,10 0,9967	0,38 0,9567
R5 250-450	Efecto % SC Prob F>	63,66	13,43 0,0087	- 11,09 0,0009	2,11 0,1125	- 2,09 0,1142	+	34,19 <0,001	0,21 0,9916	0,10 0,9979	0,46 0,963
R5 300	Efecto % SC Prob F>	74,26	13,31 0,0012	- 10,27 0,0002	1,24 0,1383	- 42,40 <0,001	+	5,54 0,0035	0,63 0,8769	0,14 0,9919	0,54 0,9039

Tabla A8.4: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración de ácido mirístico en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas, determinadas por el método de análisis de regresión multivariada. % SC modelo: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales explicado por el modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación positiva (+) o negativa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Ácido Mirístico (%)											
Etapas	Efecto Principal	%SC Modelo	Genotipo	T °C min	PAR (MJ.m ⁻² .día ⁻¹)	HR (%)	Agua Útil Disponible (mm)	Genotipo × T °C min	Genotipo × PAR	Genotipo × HR	Genotipo × Agua Útil Disponible (mm)
EME-R9	Efecto			-	+	-	-				
	% SC	91,29	6,31	63,61	12,08	3,31	3,31	1,82	0,32	0,21	0,32
	Prob F>		0,0029	<.0001	<.0001	0,0026	0,0025	0,2291	0,9052	0,9267	0,8705
EME-R1	Efecto			-	-	+					
	% SC	72,79	12,06	37,18	8,60	7,56	2,38	0,71	3,11	1,08	0,11
	Prob F>		0,0309	<.0001	0,0059	0,0093	0,1267	0,9434	0,5273	0,8856	0,9984
R1-R5	Efecto			-	-	-					
	% SC	67,61	4,66	32,70	16,51	9,16	0,16	1,96	1,64	0,33	0,49
	Prob F>		0,0538	<.0001	<.0001	<.0001	0,5142	0,3588	0,441	0,9525	0,8847
R5-15+20	Efecto			-	-	-		+			
	% SC	93,02	9,95	56,18	1,29	14,00	2,95	4,24	2,03	1,11	1,29
	Prob F>		<.0001	<.0001	0,023	<.0001	0,001	0,0038	0,0832	0,2846	0,2492
R5+100	Efecto			-	-	-					
	% SC	81,41	10,03	45,97	0,17	15,38	0,67	4,85	2,34	0,84	1,17
	Prob F>		0,0041	<.0001	0,6865	<.0001	0,2595	0,0763	0,3399	0,7971	0,7005
R5 100-200	Efecto			-							
	% SC	79,65	12,64	58,90	0,00	0,00	1,19	3,58	1,91	0,48	0,95
	Prob F>		0,0116	<.0001	0,7566	0,9869	0,2178	0,3472	0,6669	0,9428	0,8584
R5 100-300	Efecto			-							
	% SC	85,14	12,92	59,30	0,46	0,00	6,00	3,46	1,62	0,69	0,69
	Prob F>		0,0018	<.0001	0,3591	0,87	0,0031	0,2103	0,604	0,8592	0,8966
R5 200	Efecto			-		-					
	% SC	81,44	11,75	56,72	0,20	4,66	0,00	4,05	2,03	0,81	1,22
	Prob F>		0,0052	<.0001	0,6532	0,01	0,7813	0,1984	0,5228	0,8491	0,7489
R5 250-450	Efecto			-		+					
	% SC	78,42	8,88	30,06	1,50	4,65	28,83	2,73	1,23	0,55	0,00
	Prob F>		0,0059	<.0001	0,095	0,0045	<.0001	0,2466	0,6409	0,8745	1
R5 300	Efecto			-		-					
	% SC	85,94	13,34	60,38	0,00	2,49	1,81	4,07	2,04	0,90	0,90
	Prob F>		0,001	<.0001	0,7681	0,0344	0,073	0,1284	0,4549	0,7704	0,776

Tabla A8.5: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración de ácido esteárico en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas, determinadas por el método de análisis de regresión multivariada. % SC modelo: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales explicado por el modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación positiva (+) o negativa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Ácido Esteárico (%)											
Etapas	Efecto Principal	%SC Modelo	Genotipo	T °C min	PAR (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)	HR (%)	Agua Útil Disponible (mm)	Genotipo × T °C min	Genotipo × PAR	Genotipo × HR	Genotipo × Agua Útil Disponible (mm)
EME-R9	Efecto					-					
	% SC Prob F>	54,23	32,14 0,0095	5,70 0,0956	0,20 0,7485	13,00 0,0149	0,12 0,8076	1,36 0,9468	0,46 0,9928	0,46 0,9928	0,80 0,9797
EME-R1	Efecto										
	% SC Prob F>	5,87	4,44 0,0107	0,17 0,4393	0,66 0,1314	0,02 0,7721	0,19 0,4114	0,06 0,994	0,26 0,9104	0,06 0,9945	0,01 0,9997
R1-R5	Efecto					-					
	% SC Prob F>	11,11	5,56 0,0087	0,00 0,9864	0,61 0,1801	3,06 0,005	0,80 0,1272	0,34 0,8976	0,37 0,8834	0,14 0,9792	0,23 0,9477
R5-15+20	Efecto					-					
	% SC Prob F>	23,64	11,79 0,0044	0,10 0,6916	0,00 0,9489	8,68 0,0008	1,01 0,2039	0,67 0,8869	0,36 0,9596	0,52 0,9243	0,51 0,9284
R5+100	Efecto					-	+				
	% SC Prob F>	27,64	11,95 0,0049	0,13 0,6545	1,12 0,1901	9,94 0,0005	2,80 0,0428	0,68 0,8902	0,29 0,9747	0,41 0,9539	0,33 0,9684
R5 100-200	Efecto					-	+				
	% SC Prob F>	51,80	23,05 0,0001	1,41 0,1503	0,72 0,2995	15,70 <.0001	7,85 0,0018	0,98 0,8178	0,85 0,8531	0,62 0,9128	0,62 0,9123
R5 100-300	Efecto					-	+				
	% SC Prob F>	54,25	24,25 0,0002	2,20 0,0885	1,04 0,2333	20,10 <.0001	4,00 0,0246	1,03 0,8282	0,49 0,9483	0,69 0,9093	0,45 0,9563
R5 200	Efecto					-	+				
	% SC Prob F>	40,61	17,41 0,0009	0,77 0,2871	0,76 0,2916	14,31 <.0001	5,17 0,0094	0,70 0,8967	0,43 0,9549	0,57 0,9263	0,50 0,941
R5 250-450	Efecto					-					
	% SC Prob F>	34,53	18,86 0,0018	0,62 0,3894	0,89 0,3015	0,47 0,451	11,66 0,0008	0,96 0,8762	0,48 0,9611	0,58 0,9458	0,00 1
R5 300	Efecto					-	+				
	% SC Prob F>	45,88	19,48 0,0006	1,45 0,161	1,15 0,2098	17,35 <.0001	4,06 0,0231	0,80 0,8829	0,39 0,965	0,70 0,9066	0,50 0,9469

Tabla A8.6: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración de ácido palmítico en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas, determinadas por el método de análisis de regresión multivariada. % SC modelo: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales explicado por el modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación positiva (+) o negativa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Ácido Palmítico (%)											
Etapas	Efecto Principal	%SC Modelo	Genotipo	T °C min	PAR (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)	HR (%)	Agua Útil Disponible (mm)	Genotipo × T °C min	Genotipo × PAR	Genotipo × HR	Genotipo × Agua Útil Disponible (mm)
EME-R9	Efecto % SC Prob F>	70,48	6,97 0,1968	- 34,92 <.0001	- 1,64 0,226	- 24,06 <.0001	0,65 0,4419	1,44 0,8504	0,27 0,992	0,20 0,9956	0,32 0,9893
EME-R1	Efecto % SC Prob F>	34,23	7,00 0,238	- 12,95 0,0028	- 11,85 0,004	- 0,02 0,8971	0,36 0,5883	0,30 0,9921	1,30 0,8919	0,40 0,9864	0,06 0,9997
R1-R5	Efecto % SC Prob F>	30,81	2,95 0,2489	- 4,80 0,0051	- 6,74 0,0013	- 12,44 <.0001	2,13 0,052	0,80 0,8134	0,65 0,8625	0,11 0,9942	0,19 0,9836
R5-15+20	Efecto % SC Prob F>	74,49	7,82 0,0148	- 12,11 <.0001	- 0,56 0,3037	- 47,80 <.0001	2,09 0,054	1,97 0,4453	0,92 0,7736	0,57 0,8878	0,64 0,8677
R5+100	Efecto % SC Prob F>	71,42	7,23 0,0164	- 7,18 0,0007	- 0,23 0,4948	- 44,53 <.0001	6,41 0,0013	3,59 0,1512	1,64 0,511	0,19 0,9821	0,42 0,9269
R5 100-200	Efecto % SC Prob F>	71,90	12,71 0,0099	- 13,58 0,0003	- 0,00 0,9827	- 35,12 <.0001	7,15 0,0051	1,66 0,7039	0,87 0,8843	0,32 0,9795	0,49 0,9558
R5 100-300	Efecto % SC Prob F>	84,56	13,01 0,0009	- 23,13 <.0001	- 0,99 0,1683	- 42,22 <.0001	1,65 0,0793	2,05 0,4058	0,78 0,8111	0,44 0,924	0,29 0,9628
R5 200	Efecto % SC Prob F>	75,33	8,46 0,0111	- 11,41 <.0001	- 0,02 0,8644	- 43,18 <.0001	8,20 0,0005	2,18 0,4011	0,98 0,7542	0,39 0,9425	0,51 0,9078
R5 250-450	Efecto % SC Prob F>	80,82	11,20 0,0023	- 23,85 <.0001	- 1,83 0,0675	- 4,14 0,0081	35,99 <.0001	2,32 0,3532	1,08 0,7098	0,44 0,9258	0,00 1
R5 300	Efecto % SC Prob F>	83,80	10,61 0,0011	- 16,86 <.0001	- 0,47 0,2971	- 47,37 <.0001	4,05 0,0045	2,64 0,2079	1,02 0,6561	0,41 0,909	0,37 0,922

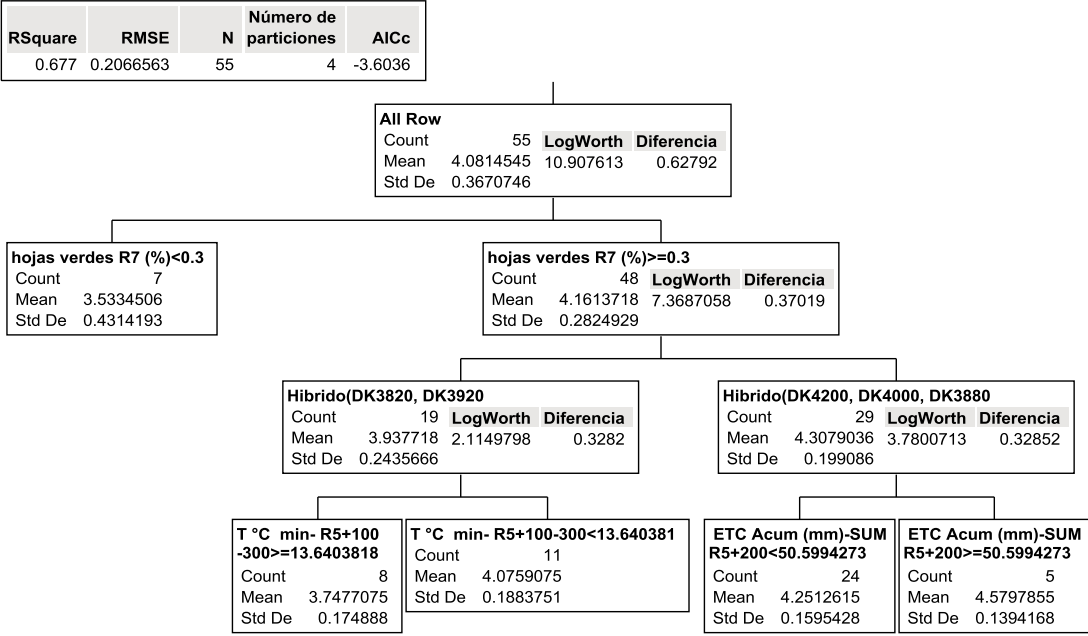


Figura A8.1: Partición dicotómica de los valores observados de concentración de ácido esteárico en aceite en función de genotipos y datos observados de características fenotípicas y factores ambientales por el método de partición recurrente. Cada rectángulo indica el nombre de la característica y valor de la misma en función de la cual se generó la partición, el número total de observaciones involucradas en cada grupo (count), el valor medio del grupo (mean) y su desvío estándar (Std Dev), así como la amplitud de los valores observados dentro de cada grupo (diferencia) cuando este fue vuelto a subdividir. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta figura.

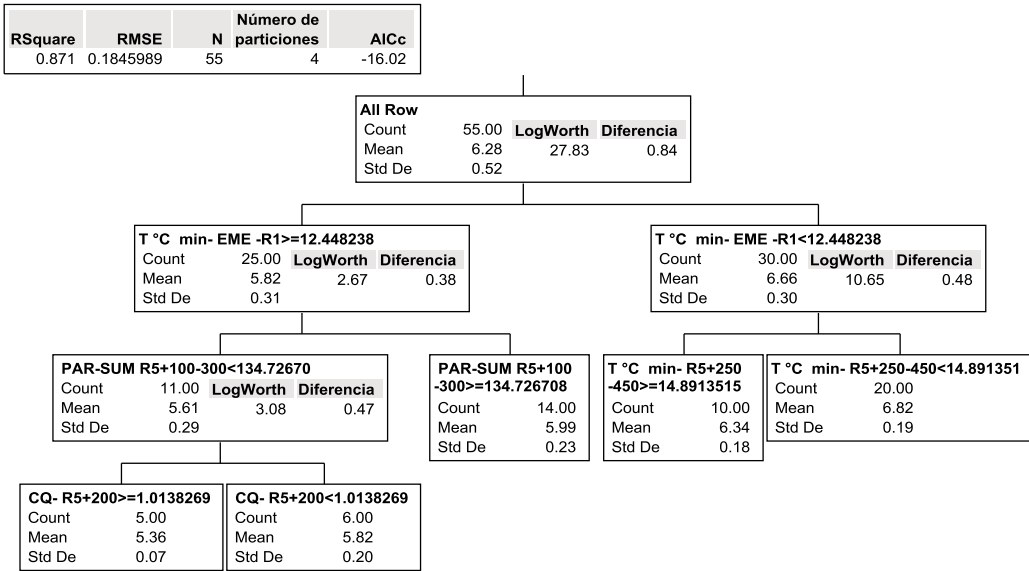


Figura A8.2: Partición dicotómica de los valores observados de concentración de ácido palmítico en aceite en función de genotipos y datos observados de características fenotípicas y factores ambientales por el método de partición recurrente. Cada rectángulo indica el nombre de la característica y valor de la misma en función de la cual se generó la partición, el número total de observaciones involucradas en cada grupo (count), el valor medio del grupo (mean) y su desvío estándar (Std Dev), así como la amplitud de los valores observados dentro de cada grupo (diferencia) cuando este fue vuelto a subdividir. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta figura.

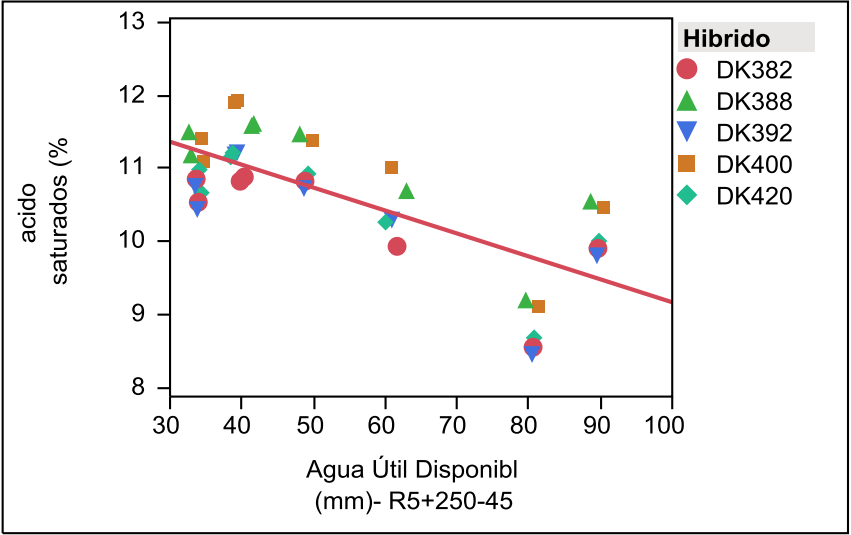


Figura A8.3: Variación en la concentración de ácidos saturados en aceite en función del agua útil disponible en el período R5+250-450°Cd. ($R^2=0.539$, $p<0.0001$, $\text{ácidos saturados (\%)} = 12.302528 - 0.0313826 * \text{Agua Útil Disponible (mm)- R5+250-450}^\circ\text{Cd}$). Símbolos de colores identifican a los genotipos y la dispersión de valores de cada color al efecto localidad. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta figura.

B. Ácidos grasos insaturados

Tabla A8.7: Contribuciones de los factores G, E y GxE a la varianza total para la concentración de los ácidos grasos insaturados en aceite en función de los diferentes genotipos y de las agrupaciones de ambientes seleccionados en función de los resultados del Cap. III. Todos los modelos de análisis de la varianza fueron altamente significativos ($p < 0,0001$). * Diferencias significativas ($p < 0,05$). Valores seguidos de letras diferentes dentro de la misma columna y agrupación, difieren estadísticamente ($p < 0,05$). El porcentaje de la variabilidad explicada por cada efecto principal fue calculado en función de la razón entre la Suma de cuadrados de cada efecto dividido la suma de cuadrados totales por 100. Loc = Localidades (repeticiones) efecto anidado en cada grupo. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

		oleico (%)	linoleico (%)	linolénico (%)	mono insaturados / poliinsaturados	poli insaturados (%)
	R2	0,962	0,965	0,862	0,944	0,964
	Suma de cuadrados totales	6182	5665	0	8	5696
Genotipo	% variabilidad explicada por genotipo					
		4% *	5% *	5% *	4% *	5% *
	Valores medios estimados					
	DK3820	31,26 C	58,65 A	0,07 A	0,59 B	58,72 A
	DK3880	36,83 AB	52,49 C	0,07 A	0,81 A	52,55 C
	DK3920	34,40 B	55,38 B	0,06 AB	0,69 B	55,44 B
	DK4000	37,10 A	52,06 C	0,05 B	0,82 A	52,11 C
	DK4200	36,42 AB	53,25 BC	0,07 A	0,80 A	53,33 BC
Agrupaciones	Efectos Principales/Clústeres					
Productividad media	% variabilidad explicada por cada efecto principal					
	Ambiente	41% *	41% *	50% *	37%	41% *
	Loc (ambiente)	52%	50%	28%	52%	50%
	Ambiente x Genotipo	0%	0%	1%	1%	0%
	Valores medios estimados					
	Alto	29,06 B	60,29 A	0,08 A	0,51 A	60,37 A
	Medio	24,52 B	64,74 A	0,11 A	0,38 A	64,85 A
	Bajo	42,60 A	47,29 B	0,04 B	1,00 A	47,32 B
Zona Agroecológica	% variabilidad explicada por cada efecto principal					
	Ambiente	60% *	62% *	42% *	60% *	62% *
	Loc (ambiente)	32%	29%	37%	30%	29%
	Ambiente x Genotipo	0%	0%	3%	1%	0%
	Valores medios estimados					
	NEA	48,60 A	41,46 B	0,03 B	1,24 A	41,49 B
	OESTE	31,08 B	58,03 A	0,08 AB	0,57 B	58,10 A
	SUR	25,93 B	63,61 A	0,09 A	0,41 B	63,70 A
Nitrogeno disponible	% variabilidad explicada por cada efecto principal					
	Ambiente	18%	19%	8%	15%	19%
	Loc (ambiente)	65%	61%	63%	64%	61%
	Ambiente x Genotipo	2%	2%	4%	3%	2%
	Valores medios estimados					
	Optimo	23,70 A	65,26 A	0,10 A	0,37 A	65,36 A
	Alto	30,28 A	59,90 A	0,07 A	0,51 A	59,97 A
	bajo	31,24 A	57,72 A	0,08 A	0,59 A	57,81 A

Tabla A8.8: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración de ácido oleico en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas, determinadas por el método de análisis de regresión multivariada. % SC modelo: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales explicado por el modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación positiva (+) o negativa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Ácido Oleico (%)											
Etapas	Efecto Principal	%SC Modelo	Genotipo	T °C min	PAR (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)	HR (%)	Agua Útil Disponible (mm)	Genotipo × T °C min	Genotipo × PAR	Genotipo × HR	Genotipo × Agua Útil Disponible (mm)
EME-R9	Efecto % SC Prob F>	85,41	5,50	76,76	2,19	0,68	0,22	0,04	0,01	0,00	0,01
			0,1581	<0,001	0,1015	0,3529	0,5942	0,9996	1	1	1
EME-R1	Efecto % SC Prob F>	87,08	8,74	35,51	21,65	20,56	0,41	0,03	0,14	0,03	0,00
			0,0149	<0,001	<0,001	<0,001	0,4065	0,9996	0,9928	0,9995	1
R1-R5	Efecto % SC Prob F>	84,83	3,56	52,47	22,58	5,09	1,04	0,03	0,02	0,01	0,02
			0,0201	<0,001	<0,001	0,0001	0,0526	0,9983	0,999	0,9998	0,9994
R5-15+20	Efecto % SC Prob F>	90,83	5,14	71,63	4,39	6,66	2,92	0,04	0,02	0,02	0,02
			0,0018	<0,001	0,0001	<0,001	0,0012	0,9966	0,9993	0,9991	0,9993
R5+100	Efecto % SC Prob F>	80,56	3,64	56,42	1,34	7,80	10,39	0,54	0,16	0,20	0,07
			0,0973	<0,001	0,0834	0,0002	<0,001	0,8585	0,9814	0,974	0,9962
R5 100-200	Efecto % SC Prob F>	85,13	4,98	71,10	1,40	0,05	7,41	0,02	0,04	0,07	0,06
			0,0344	<0,001	0,0743	0,7281	0,0002	0,9996	0,9985	0,9966	0,9975
R5 100-300	Efecto % SC Prob F>	91,96	5,07	82,93	0,09	0,00	3,66	0,05	0,05	0,06	0,04
			0,003	<0,001	0,5531	0,9113	0,0006	0,9944	0,9942	0,9913	0,9956
R5 200	Efecto % SC Prob F>	85,83	4,45	66,85	1,48	2,16	10,75	0,06	0,02	0,04	0,02
			0,0253	<0,001	0,0451	0,0173	<0,001	0,9959	0,9995	0,9983	0,9993
R5 250-450	Efecto % SC Prob F>	93,41	6,02	79,45	0,95	0,94	5,91	0,07	0,03	0,04	0,00
			0,0004	<0,001	0,0378	0,039	<0,001	0,9871	0,9976	0,995	1
R5 300	Efecto % SC Prob F>	90,83	4,63	77,35	0,50	1,63	6,32	0,14	0,03	0,18	0,06
			0,0059	<0,001	0,1692	0,0166	<0,001	0,9644	0,9976	0,9464	0,9921

Tabla A8. 9: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración de ácido linoleico en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas, determinadas por el método de análisis de regresión multivariada. % SC modelo: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales explicado por el modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación positiva (+) o negativa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Ácido Linoleico (%)											
Etapas	Efecto Principal	%SC Modelo	Genotipo	T °C min	PAR (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)	HR (%)	Agua Útil Disponible (mm)	Genotipo × T °C min	Genotipo × PAR	Genotipo × HR	Genotipo × Agua Útil Disponible (mm)
EME-R9	Efecto % SC Prob F>	87,36 0,0433	7,89 <.0001	- <.0001	2,09 0,093	0,13 0,6655	0,20 0,5955	0,05 0,9993	0,01 1	0,01 1	0,01 1
EME-R1	Efecto % SC Prob F>	89,93 0,0008	12,32 <.0001	- <.0001	19,78 <.0001	22,82 <.0001	0,27 0,4453	0,03 0,9993	0,15 0,9877	0,05 0,9982	0,00 1
R1-R5	Efecto % SC Prob F>	89,25 0,0008	5,08 <.0001	- <.0001	22,75 <.0001	3,75 0,0001	0,79 0,0503	0,02 0,9989	0,02 0,9988	0,01 0,9992	0,02 0,998
R5-15+20	Efecto % SC Prob F>	93,17 <.0001	7,08 <.0001	- <.0001	4,66 <.0001	4,23 <.0001	2,69 0,0004	0,03 0,9965	0,01 0,999	0,03 0,9967	0,02 0,9974
R5+100	Efecto % SC Prob F>	82,56 0,0222	5,24 <.0001	- <.0001	1,79 0,0395	5,30 0,001	9,76 <.0001	0,51 0,8502	0,13 0,9858	0,22 0,9629	0,08 0,9951
R5 100-200	Efecto % SC Prob F>	85,57 0,0089	6,57 <.0001	- <.0001	1,66 0,0481	0,65 0,2046	6,13 0,0005	0,02 0,9997	0,04 0,9982	0,10 0,9925	0,08 0,9941
R5 100-300	Efecto % SC Prob F>	91,74 0,0004	7,05 <.0001	- <.0001	0,18 0,3856	0,31 0,2596	3,15 0,0012	0,04 0,9959	0,05 0,9944	0,07 0,9889	0,05 0,9947
R5 200	Efecto % SC Prob F>	86,70 0,0043	6,22 <.0001	- <.0001	1,81 0,0239	0,81 0,12	9,62 <.0001	0,06 0,9956	0,02 0,9997	0,06 0,9946	0,03 0,9985
R5 250-450	Efecto % SC Prob F>	94,00	8,26 <.0001	- <.0001	- 0,0104	+ 1,33 0,0116	- 3,64 0,0001	0,06 0,9881	0,02 0,9978	0,05 0,9899	0,00 1
R5 300	Efecto % SC Prob F>	91,04 0,0007	6,55 <.0001	- <.0001	0,73 0,0943	0,44 0,1872	5,60 <.0001	0,13 0,9694	0,02 0,9986	0,19 0,9382	0,07 0,991

Tabla A8.10: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la concentración de ácido linolénico en aceite en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas, determinadas por el método de análisis de regresión multivariada. % SC modelo: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales explicado por el modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación positiva (+) o negativa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Ácido Linolénico (%)											
Etapas	Efecto Principal	%SC Modelo	Genotipo	T °C min	PAR (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)	HR (%)	Agua Útil Disponible (mm)	Genotipo × T °C min	Genotipo × PAR	Genotipo × HR	Genotipo × Agua Útil Disponible (mm)
EME-R9	Efecto			-							
	% SC	64,49	9,45	49,19	2,04	0,79	0,60	0,33	0,44	0,65	1,01
	Prob F>		0,3739	<0001	0,3352	0,5462	0,5997	0,9972	0,9947	0,9887	0,9744
EME-R1	Efecto			-		+					
	% SC	47,64	8,51	3,15	8,66	24,22	1,01	0,34	1,43	0,18	0,14
	Prob F>		0,2249	0,1451	0,0197	0,0003	0,404	0,9926	0,9024	0,998	0,9988
R1-R5	Efecto			-		-					
	% SC	35,29	3,27	21,65	8,58	0,14	0,27	0,15	0,33	0,32	0,59
	Prob F>		0,3528	<0001	0,0018	0,6683	0,5438	0,9946	0,9758	0,9767	0,9304
R5-15+20	Efecto			-							
	% SC	39,71	4,26	28,79	3,29	0,18	1,09	0,29	0,20	0,75	0,87
	Prob F>		0,3149	<0001	0,0604	0,6581	0,268	0,986	0,9934	0,9242	0,905
R5+100	Efecto			-			+				
	% SC	41,21	3,18	28,11	0,30	0,73	7,16	0,37	0,33	0,57	0,46
	Prob F>		0,3805	<0001	0,5292	0,3265	0,0043	0,9704	0,9763	0,9376	0,9562
R5 100-200	Efecto			-			+				
	% SC	71,43	5,63	51,96	0,28	0,19	11,42	0,16	0,33	0,78	0,66
	Prob F>		0,067	<0001	0,4838	0,5611	0,0001	0,9902	0,9628	0,8389	0,8782
R5 100-300	Efecto			-			+				
	% SC	75,43	6,74	58,22	0,02	0,00	8,53	0,34	0,32	0,78	0,48
	Prob F>		0,0272	<0001	0,8813	0,963	0,0004	0,9556	0,9606	0,8192	0,9156
R5 200	Efecto			-			+				
	% SC	58,62	4,33	41,34	0,32	0,18	10,55	0,17	0,31	0,78	0,63
	Prob F>		0,1925	<0001	0,4839	0,5979	0,0005	0,992	0,9756	0,8769	0,9105
R5 250-450	Efecto			-							
	% SC	60,57	6,42	48,86	1,23	1,45	0,34	0,71	0,32	1,25	0,00
	Prob F>		0,1543	<0001	0,2487	0,21	0,5381	0,935	0,9844	0,8374	1
R5 300	Efecto			-			+				
	% SC	66,54	5,39	49,82	0,03	0,31	8,80	0,33	0,30	0,94	0,62
	Prob F>		0,1004	<0001	0,8262	0,4828	0,0009	0,9695	0,9738	0,822	0,905

Tabla A8.11: Análisis de correlación entre ácidos oleico (%), ácido linolénico (%), índice de Iodo y estabilidad oxidativa (h) con las características fenotípicas y ambientales detalladas en la tabla. n= número de observaciones, Pearson=Coficiente de correlación entre la característica detallada como título de columna y la característica detallada en cada fila, p-valor: expresa el grado de significancia de cada coeficiente. Los valores de estabilidad oxidativa no incluyen a la zona NEA. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Característica	n	oleico (%)		linolenico (%)		índice de Iodo		estabilidad oxidativa (h)		
		Pearson	p-valor	Pearson	p-valor	Pearson	p-valor	n	Pearson	p-valor
rendimiento aceite (kg.ha ⁻¹)	50	-0,72	<0,0001	0,53	<0,0001	0,63	<0,0001	40	-0,5	0,0011
NG (granos.m ⁻²)	50	-0,74	<0,0001	0,65	<0,0001	0,76	<0,0001	40	-0,26	0,1051
PG (mg.grano ⁻¹)	50	0,57	<0,0001	-0,5	0,0001	-0,65	<0,0001	40	-0,18	0,267
granos por planta	50	-0,37	0,0079	0,25	0,0627	0,4	0,0027	40	-0,03	0,8753
hojas verdes R7 (%)	50	-0,41	0,003	0,43	0,001	0,27	0,0425	40	-0,27	0,0882
Aceite (%)	50	-0,61	<0,0001	0,27	0,0504	0,58	<0,0001	40	-0,56	0,0002
proteínas (%)	50	0,71	<0,0001	-0,55	<0,0001	-0,68	<0,0001	40	0,27	0,0965
aceite por grano (mg.grano ⁻¹)	50	0,23	0,1061	-0,33	0,0148	-0,32	0,0167	40	-0,38	0,0166
proteínas(%) /aceite(%)	50	0,81	<0,0001	-0,55	<0,0001	-0,78	<0,0001	40	0,49	0,0014
casara (%)	50	-0,06	0,6547	0,14	0,3075	-0,11	0,4178	40	0,27	0,086
Cascara (mg.grano ⁻¹)	50	0,46	0,0009	-0,31	0,0193	-0,6	<0,0001	40	0,09	0,5701
aptitud al descascarado (%)	50	0,71	<0,0001	-0,64	<0,0001	-0,74	<0,0001	40	0,31	0,0502
%aceite/Cascara (mg.grano ⁻¹)	50	-0,5	0,0002	0,29	0,0341	0,63	<0,0001	40	-0,3	0,0637
ceras en grano (mg.grano ⁻¹)	50	0,08	0,5909	-0,26	0,0591	-0,16	0,2314	40	-0,34	0,0297
ceras en aceite (µg.g aceite ⁻¹)	50	-0,2	0,1702	0,07	0,6289	0,19	0,1547	40	0,06	0,7024
fosfolipidos (mg.g aceite ⁻¹)	50	0,34	0,0145	-0,13	0,3337	-0,34	0,0123	40	-0,09	0,5972
PE (mg.g aceite ⁻¹)	50	0,41	0,0028	-0,26	0,054	-0,4	0,0025	40	-0,19	0,2316
AP (mg.g aceite ⁻¹)	50	0,24	0,0988	-0,03	0,8229	-0,24	0,0837	40	-0,08	0,6345
PI (mg.g aceite ⁻¹)	50	0,42	0,0025	-0,26	0,0597	-0,37	0,0052	40	-0,16	0,3186
PC (mg.g aceite ⁻¹)	50	0,33	0,0198	-0,08	0,579	-0,34	0,0123	40	0,05	0,7438
tocoferoles (µg.g aceite ⁻¹)	50	-0,37	0,0087	0,27	0,0443	0,45	0,0006	40	0,35	0,0276
a-tocoferol (µg.g aceite ⁻¹)	50	-0,36	0,0104	0,26	0,0549	0,44	0,0007	40	0,35	0,0276
b-tocoferol (µg.g aceite ⁻¹)	50	-0,44	0,0015	0,52	<0,0001	0,52	<0,0001	40	0,19	0,2428
ácidos saturados (%)	50	-0,5	0,0002	0,48	0,0002	0,36	0,0064	40	0,03	0,8347
mirístico (%)	50	-0,78	<0,0001	0,58	<0,0001	0,7	<0,0001	40	-0,2	0,2123
palmitico (%)	50	-0,65	<0,0001	0,52	0,0001	0,54	<0,0001	40	-0,17	0,3071
estearico (%)	50	-0,16	0,2724	0,29	0,0327	4,40E-03	0,9747	40	0,29	0,0722
oleico (%)	50	1	<0,0001	-0,83	<0,0001	-0,99	<0,0001	40	0,47	0,0024
linoleico (%)	50	-1	<0,0001	0,8	<0,0001	1	<0,0001	40	-0,52	0,0005
linolenico (%)	50	-0,83	<0,0001	1	<0,0001	0,78	<0,0001	40	0,07	0,6603
índice de Iodo	50	-0,99	<0,0001	0,78	<0,0001	1	<0,0001	40	-0,55	0,0002
estabilidad oxidativa (h)	50	0,47	0,0024	-0,17	0,2694	-0,81	<0,0001	40	1	<0,0001
T °C min- R1 - R5	50	0,73	<0,0001	-0,57	<0,0001	-0,69	<0,0001	40	-0,05	0,7367
PAR- R1 - R5	50	0,38	0,006	-0,36	0,0068	-0,35	0,0092	40	-0,08	0,6051
HR- R1 - R5	50	-0,08	0,56	0,26	0,0514	0,3	0,0279	40	0,31	0,0544
Agua Útil Disponible (mm)-R1 - R5	50	-0,31	0,0286	0,34	0,0116	0,31	0,0221	40	-0,06	0,7197
Lluvia (mm)-SUM R1 - R5	50	-0,06	0,6681	-0,1	0,4766	0,1	0,4625	40	-0,08	0,6044
T °C min- R5+100-300	50	0,94	<0,0001	-0,8	<0,0001	-0,8	<0,0001	40	0,25	0,1166
PAR- R5+100-300	50	0,39	0,0049	-0,36	0,0078	-0,35	0,0098	40	-0,44	0,0044
HR- R5+100-300	50	0,33	0,0181	-0,23	0,0968	-0,17	0,2152	40	0,42	0,0065
Agua Útil Disponible (mm)-R5+100-300	50	0,28	0,0524	-0,08	0,5845	-0,1	0,4749	40	0,24	0,1327
Lluvia (mm)-SUM R5+100-300..	50	0,27	0,0549	-0,26	0,0507	-0,12	0,3994	40	0,15	0,3564
T °C min- R5+250-450	50	0,92	<0,0001	-0,8	<0,0001	-0,85	<0,0001	40	0,14	0,3811
PAR- R5+250-450	50	0,54	0,0001	-0,47	0,0003	-0,48	0,0002	40	-0,25	0,1247
HR- R5+250-450	50	-0,11	0,4624	0,19	0,1685	0,17	0,2196	40	0,34	0,0298
Agua Útil Disponible (mm)-R5+250-450	50	0,47	0,0006	-0,23	0,0984	-0,21	0,1319	40	0,26	0,1116
Lluvia (mm)-SUM R5+250-450..	50	0,1	0,4943	-0,23	0,0851	-0,12	0,4002	40	-0,14	0,4
T °C min- R5+300	50	0,92	<0,0001	-0,75	<0,0001	-0,76	<0,0001	40	0,25	0,1223
PAR- R5+300	50	0,36	0,0092	-0,33	0,0151	-0,33	0,0152	40	-0,39	0,0138
HR- R5+300	50	0,36	0,0105	-0,19	0,1542	-0,16	0,2314	40	0,46	0,0031
Agua Útil Disponible (mm)-R5+300	50	0,24	0,0966	-0,03	0,8243	-0,05	0,721	40	0,2	0,208
Lluvia (mm)-SUM R5+300	50	0,44	0,0016	-0,33	0,0149	-0,25	0,0607	40	0,45	0,0037
N (kg×ha ⁻¹)	50	-0,37	0,0079	0,24	0,0807	0,5	0,0001	40	0,08	0,6295

Tabla A8.12: Variación de la concentración de ácido oleico en función del rendimiento en aceite. Parámetros del modelo lineal en dos tramos representados en la Figura 8.6 del cuerpo principal de la tesis: primera fase: ordenada al origen = 76,54, pendiente = -0,035; $R = -0,645$, $p=0,009$, $n=15$); segunda fase ($R = -0,277$, $p=0,106$). $a = \text{ácido oleico (\%)}$; $b = \text{Rendimiento aceite (kg} \times \text{ha}^{-1})$.

Variable	N	CMError	Sigma	AIC	BIC	Iteración
oleico	55	63,10	7,94	388,96	396,99	5

Parámetros	Cota inf.	Cota sup.	Val.Ini.	Estimación	E.E.	T	p-valor
ALFA	-1E30	1E30	51,61	79,67	9,97	7,99	<0,0001
BETA1	-1E30	1E30	-0,03	-0,04	0,01	-4,23	0,0001
GAMMA	-1E30	1E30	1359,71	1274,47	80,75	15,78	<0,0001

Matriz de covarianzas de las estimaciones

	ALFA	BETA1	GAMMA
ALFA	99,34	-0,09	-521,99
BETA1	-0,09	9,3E-05	0,58
GAMMA	-521,99	0,58	6520,55

Matriz de correlación de las estimaciones

	ALFA	BETA1	GAMMA
ALFA	1,00	-0,99	-0,65
BETA1	-0,99	1,00	0,75
GAMMA	-0,65	0,75	1,00

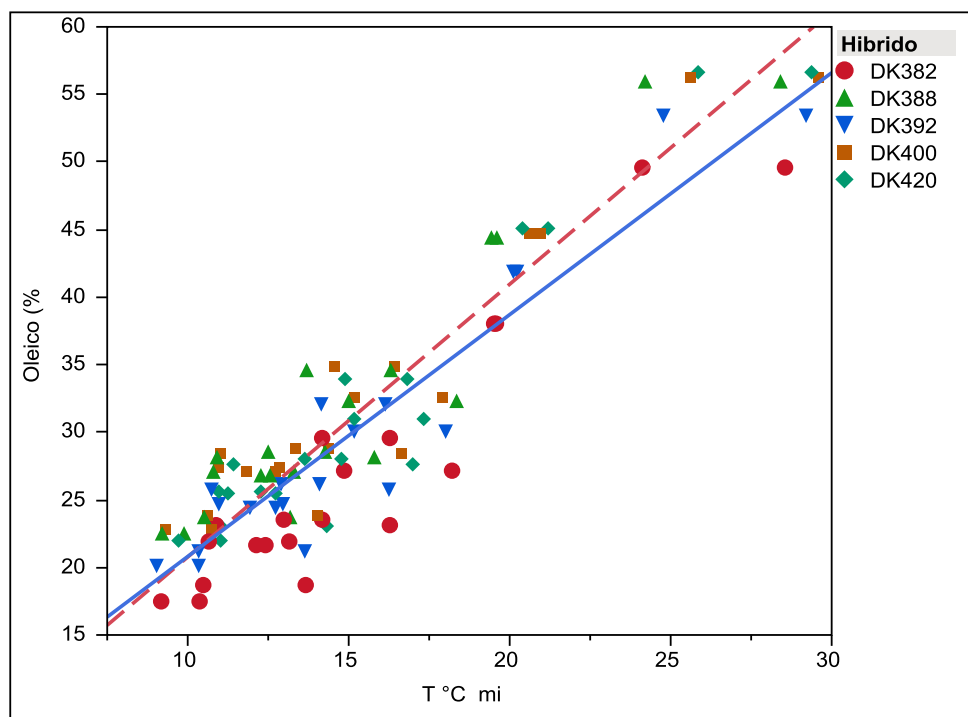


Figura A8.4 Comparación de la respuesta de la concentración en aceite del ácido oleico a la temperatura para los momentos R5+100-300°Cd (Línea discontinua roja ($R^2=0.883$, $p<0.00011$, Oleico (%) = $0.581683 + 2.0186766 \cdot T$ °C min) y R5+250-450°Cd (Línea continúa azul $R^2=0.851$, $p<0.00011$, Oleico (%) = $2.906505 + 1.7899667 \cdot T$ °C min. Las pendientes de las curvas son semejantes ($p>0.1$) y las ordenas al origen son semejantes a 0. Símbolos de colores identifican a los genotipos y la dispersión de valores de cada color al efecto localidad. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta figura.

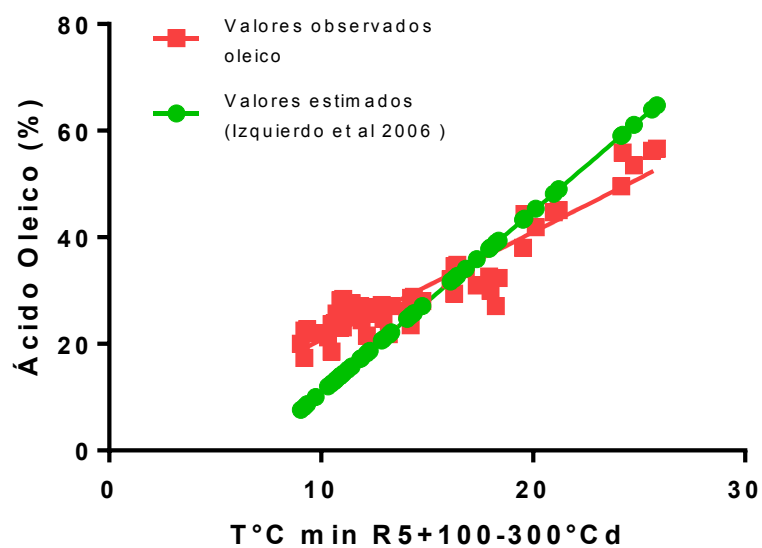


Figura A8.5: Comparación de modelos lineales de la respuesta de la concentración en aceite del ácido oleico a la temperatura mínima en el período R5+100-300°Cd, entre los valores observados en esta tesis ■ (% oleico= $0,5817 + (2,019 \pm 0,1060) \times T^{\circ}\text{C min R5+100-300}$, $R^2=0,8831$) y la fase lineal del modelo presentado por Izquierdo et al (2006) " (% oleico= $-23,1 + (3,4) \times T^{\circ}\text{C min R5+100-300}$. Las pendientes de las curvas fueron estadísticamente diferentes ($p<0,0001$).

Capítulo 9: Estabilidad oxidativa

Tabla A9.1: Contribuciones de los factores G, E y GxE a la varianza total para la estabilidad oxidativa del aceite en función de los diferentes genotipos y de las agrupaciones de ambientes seleccionados en función de los resultados del Cap. III, sin incluir a las localidades correspondientes a la zona NEA. Todos los modelos de análisis de la varianza efectuados fueron altamente significativos ($p < 0,0001$). * Diferencias significativas ($p < 0,05$). Valores seguidos de letras diferentes dentro de la misma columna y agrupación, difieren estadísticamente ($p < 0,05$). El porcentaje de la variabilidad explicada por cada efecto principal fue calculado en función de la razón entre la Suma de cuadrados de cada efecto dividido la suma de cuadrados totales por 100. Loc = Localidades (repeticiones) efecto anidado en cada grupo. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

estabilidad oxidativa (h)	
R2	0,717
Suma de cuadrados totales	379,2
Zona Agroecológica	% variabilidad explicada por cada efecto principal
	Ambiente 2%
	Loc (ambiente) 50%
	Genotipo 13% *
	Ambiente x Genotipo 6%
	Valores medios estimados
	oeste 16,25 A
	sur 15,33 A
Productividad media	% variabilidad explicada por cada efecto principal
	Ambiente 1%
	Loc (ambiente) 57%
	Ambiente x Genotipo 11%
	Valores medios estimados
	Alto 15,02 A
	Medio 15,42 A
Nitrogeno disponible	% variabilidad explicada por cada efecto principal
	Ambiente 5%
	Loc (ambiente) 47%
	Ambiente x Genotipo 6%
	Valores medios estimados
	Optimo 14,88 A
	Alto 16,11 A
	bajo 16,68 A

Tabla A9.2: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la estabilidad oxidativa del aceite en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas, determinadas por el método de análisis de regresión multivariada, sin incluir zona NEA. % SC modelo: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales explicado por el modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación positiva (+) o negativa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Estabilidad Oxidativa (h)											
Etapas	Efecto Principal	%SC Modelo	Genotipo	T °C min	PAR (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)	HR (%)	Agua Útil Disponible (mm)	Genotipo × T °C min	Genotipo × PAR	Genotipo × HR	Genotipo × Agua Útil Disponible (mm)
EME-R9	Efecto % SC Prob F>	70,31 0,0276	14,20 0,0276	+ 28,58 <.0001	+ 10,11 0,0054	3,65 0,0753	- 10,36 0,0049	1,01 0,9111	0,02 0,9999	1,90 0,7658	0,48 0,9757
EME-R1	Efecto % SC Prob F>	79,49 0,0075	22,92 0,0075	+ 31,63 <.0001	1,62 0,2614	+ 6,62 0,0298	- 7,20 0,0242	3,26 0,6172	2,19 0,769	2,02 0,7945	2,04 0,7917
R1-R5	Efecto % SC Prob F>	32,22 0,2398	26,52 0,2398	0,29 0,7996	2,19 0,4896	1,19 0,6092	0,01 0,9698	0,44 0,9987	0,05 1	0,72 0,9966	0,82 0,9956
R5+100	Efecto % SC Prob F>	50,66 0,1443	21,79 0,1443	0,15 0,8224	2,44 0,3638	3,35 0,2885	10,49 0,068	1,55 0,9663	3,30 0,8792	5,80 0,7263	1,78 0,957
R5 100-200	Efecto % SC Prob F>	49,88 0,2898	14,23 0,2898	9,94 0,0672	16,81 0,0205	0,00 0,9827	0,16 0,8109	1,69 0,9563	1,46 0,9665	5,45 0,7271	0,14 0,9996
R5 100-300	Efecto % SC Prob F>	46,30 0,1861	22,94 0,1861	0,01 0,9536	10,18 0,0964	0,69 0,6546	3,93 0,291	4,50 0,8501	0,20 0,9995	3,71 0,8889	0,13 0,9998
R5 200	Efecto % SC Prob F>	50,68 0,1961	19,32 0,1961	6,71 0,1433	16,80 0,0257	0,57 0,6604	0,02 0,9374	0,23 0,9992	1,49 0,97	5,21 0,7708	0,32 0,9984
R5 250-450	Efecto % SC Prob F>	55,00 0,0939	13,66 0,0939	+ 12,88 0,008	+ 10,31 0,0158	+ 11,35 0,0119	5,29 0,0735	1,08 0,9454	0,25 0,9963	0,07 0,9997	0,11 0,9992
R5 300	Efecto % SC Prob F>	44,74 0,2099	27,28 0,2099	0,04 0,9233	6,38 0,2335	0,05 0,9163	5,59 0,2636	1,00 0,9929	0,39 0,9988	3,88 0,9186	0,12 0,9999

Tabla A9.3: Contribución relativa del genotipo, de características ambientales y de sus interacciones a la variabilidad total de la estabilidad oxidativa del aceite en función de las diferentes etapas fenológicas estudiadas, determinadas por el método de análisis de regresión multivariada, incluyendo el conjunto completo de datos. % SC modelo: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales explicado por el modelo. Efecto: indica si la característica en estudio tiene una relación positiva (+) o negativa (-) con el factor ambiental considerado. %SC: expresa el porcentaje de la suma de cuadrados totales capturado por cada uno de los factores incorporados al modelo. Prob>F: expresa el grado de significancia de cada factor. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Estabilidad Oxidativa (h)											
Etapas	Efecto Principal	%SC Modelo	Genotipo	T °C min	PAR (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)	HR (%)	Agua Útil Disponible (mm)	Genotipo × T °C min	Genotipo × PAR	Genotipo × HR	Genotipo × Agua Útil Disponible (mm)
EME-R9	Efecto			+			-				
	% SC	76,64	5,08	56,39	4,19	3,04	5,51	0,42	0,30	0,79	0,92
	Prob F>		0,3358	<.0001	0,0578	0,1026	0,0314	0,982	0,9904	0,9438	0,927
EME-R1	Efecto			+	+		-				
	% SC	88,23	6,94	32,05	36,46	1,19	8,57	0,44	1,04	0,98	0,57
	Prob F>		0,0098	<.0001	<.0001	0,1023	0,0001	0,8982	0,6478	0,671	0,8433
R1-R5	Efecto			+	+	+	-				
	% SC	88,55	4,07	40,03	31,13	6,55	4,69	0,47	0,51	0,41	0,70
	Prob F>		0,0047	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0,6923	0,6586	0,7427	0,509
R5-15+20	Efecto			+	+	+	-				
	% SC	93,93	5,51	53,47	15,77	10,06	5,91	0,67	0,40	1,17	0,98
	Prob F>		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0,3554	0,6119	0,1251	0,1878
R5+100	Efecto			+	+	+	-				
	% SC	90,47	4,42	49,03	11,10	10,66	12,22	0,24	0,16	1,78	0,86
	Prob F>		0,0051	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0,9005	0,9499	0,1357	0,4564
R5 100-200	Efecto			+	+						
	% SC	69,73	5,47	41,45	15,38	0,15	3,45	0,82	0,92	1,39	0,71
	Prob F>		0,2073	<.0001	0,0003	0,6841	0,0559	0,9135	0,8956	0,8041	0,9327
R5 100-300	Efecto			+	+						
	% SC	69,30	6,28	47,81	9,77	0,36	2,28	0,42	0,56	1,22	0,60
	Prob F>		0,1896	<.0001	0,0035	0,5421	0,1323	0,9775	0,962	0,8587	0,9573
R5 200	Efecto			+	+	+	-				
	% SC	81,25	5,41	47,47	12,77	3,72	9,07	0,47	0,37	1,31	0,66
	Prob F>		0,0431	<.0001	<.0001	0,0094	0,0002	0,9082	0,9385	0,6017	0,8408
R5 250-450	Efecto			+	+						
	% SC	81,22	6,44	53,69	15,63	1,68	0,48	0,84	0,65	1,78	0,03
	Prob F>		0,0489	<.0001	<.0001	0,1012	0,3726	0,8324	0,8875	0,5559	0,9997
R5 300	Efecto			+	+	+	-				
	% SC	77,43	5,61	49,31	10,85	3,12	5,51	0,43	0,35	1,50	0,76
	Prob F>		0,0954	<.0001	0,0003	0,0355	0,0067	0,9513	0,966	0,6699	0,8755

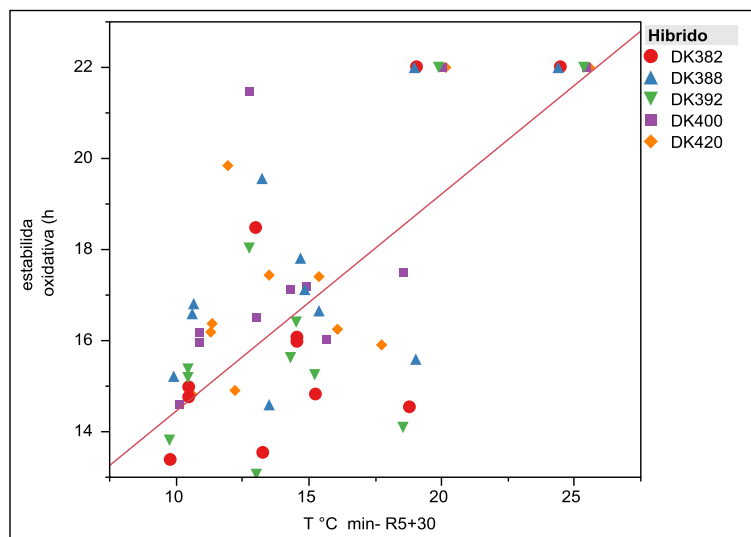


Figura A9.1: Variación de la estabilidad oxidativa (h) en función de la temperatura mínima en la etapa R5+300°Cd. ($R^2=0.610$, $p<0.0001$, estabilidad oxidativa (h) = $9.6817277 + 0.4769564 \cdot T \text{ } ^\circ\text{C min- R5+300}$. Set de datos completos, incluyendo zona NEA. Símbolos de colores identifican a los genotipos y la dispersión de valores de cada color al efecto localidad. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta figura.

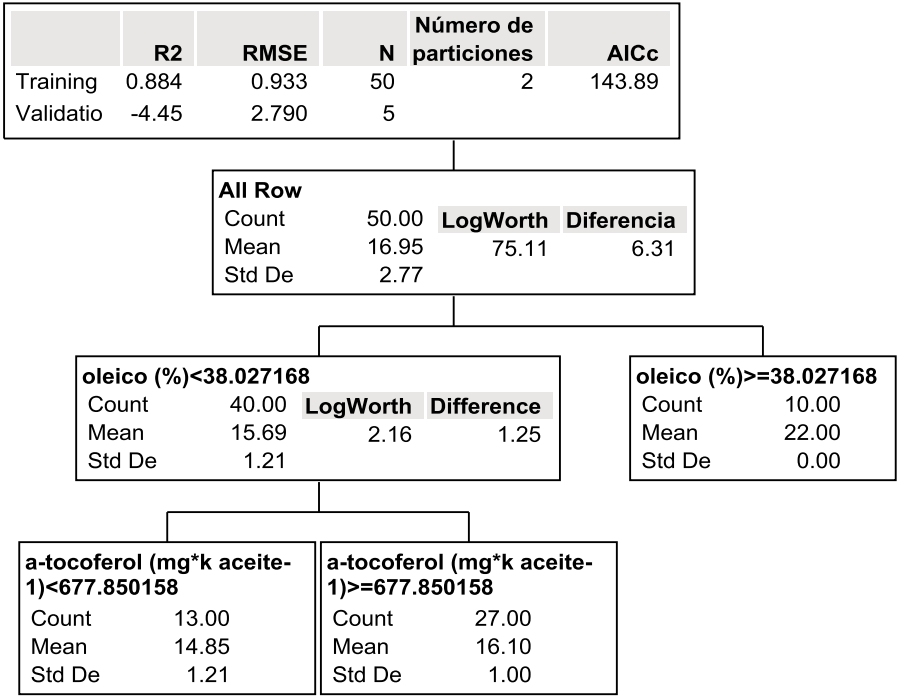


Figura A9.2: Partición dicotómica de los valores observados de estabilidad oxidativa del aceite en función de genotipos y datos observados de características fenotípicas y factores ambientales por el método de partición recurrente. Análisis con inclusión forzada de la concentración de tocoferoles, al presentar estos un peso sobre la variabilidad total inferior al de la concentración de aceite. Cada rectángulo indica el nombre de la característica y valor de la misma en función de la cual se generó la partición, el número total de observaciones involucradas en cada grupo (count), el valor medio del grupo (mean) y su desvío estándar (Std Dev), así como la amplitud de los valores observados dentro de cada grupo (diferencia) cuando este fue vuelto a subdividir. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta figura.

Capítulo 10: Análisis conjunto de las características de calidad, discusión y conclusiones generales

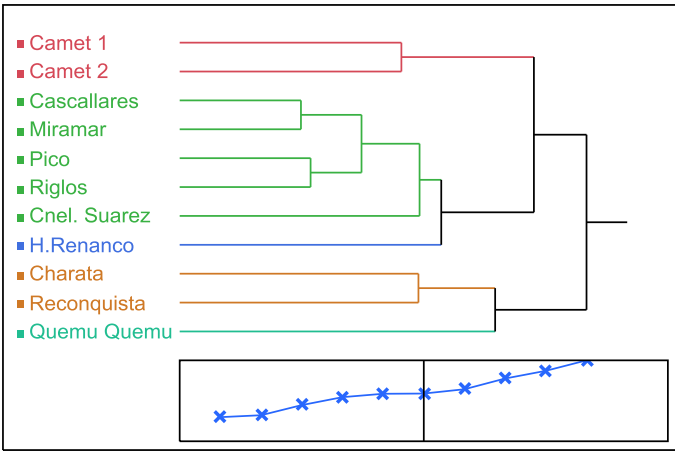


Figura A10.1: Representación gráfica del análisis de clasificación de localidades en función de las 11 características ambientales ($T^{\circ}C$ min, PAR, precipitaciones, HR y AU en las etapas ontogénicas R1-R5 y R5+300°Cd y el contenido de nitrógeno inicial en el suelo ($N\text{ kg-ha}^{-1}$)) y de las 6 características fenotípicas (rendimiento aceite (kg-ha^{-1}), PG, Aceite (%). Proteínas(%)/Aceite(%), Aceite(%)/granos(mg.grano^{-1}) y %hojas verdes en R7) seleccionadas. Correlación cofenética: 0.93. Colores diferentes identifican a las localidades incluidas en cada grupo. Rojo: Camet; Verde: Centro; Azul: H. Renanco, Naranja: NEA. Celeste: Quemu Quemú Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta figura.

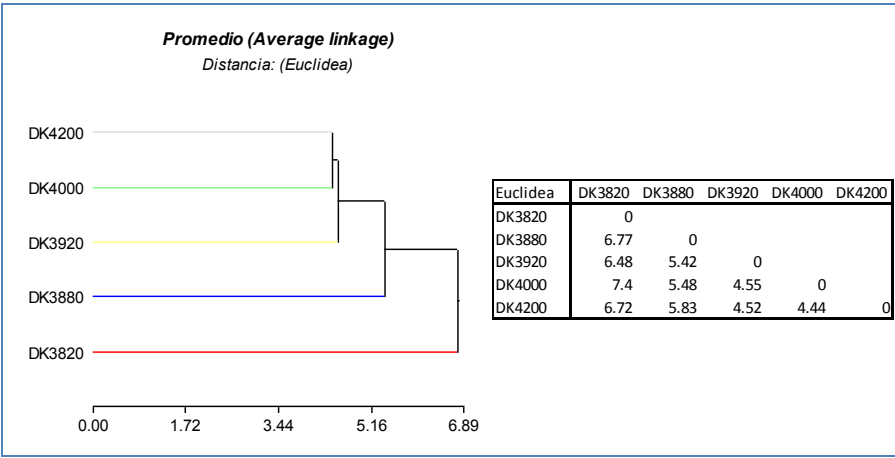


Figura A10.2: Representación gráfica del análisis de clasificación de Genotipos en función de las 6 características fenotípicas (rendimiento aceite (kg-ha^{-1}), PG, Aceite (%). Proteínas(%)/Aceite(%), Aceite(%)/granos(mg.grano^{-1}) y %hojas verdes en R7) seleccionadas y de las características de calidad estudiadas (Cáscara (mg.grano^{-1}), Aptitud al descascarado (%), concentración de ceras en aceite (mg.g aceite^{-1}), Fosfolípidos (mg.g aceite^{-1}), Tocoferoles ($\mu\text{g.g aceite}^{-1}$), Ácidos grasos saturados (%), Ácido oleico (%) y Estabilidad oxidativa (h). Correlación cofenética: 0.97. Colores diferentes identifican a cada genotipo, no se observó cultivares con respuestas semejantes. Cuadro de distancia Euclidea entre genotipos Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta figura.

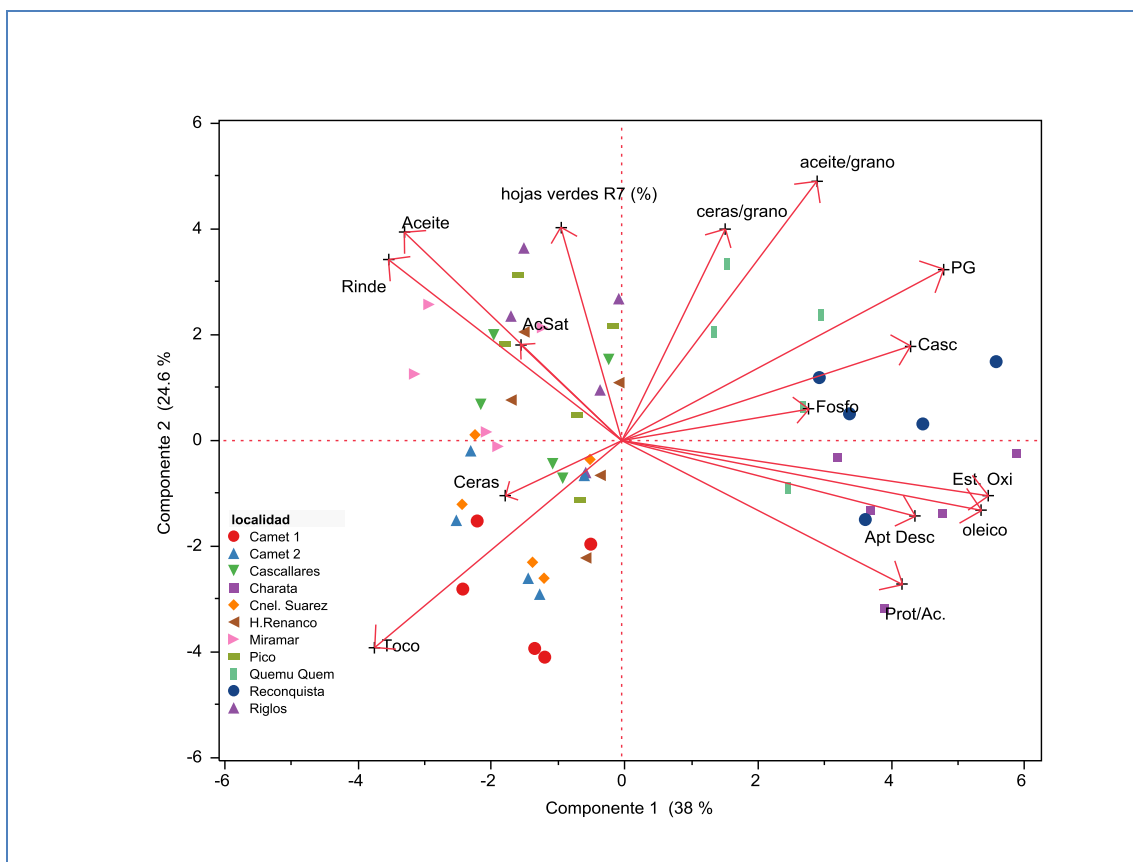


Figura A10.3: Relación entre las características fenotípicas seleccionadas (rendimiento aceite (kg-ha⁻¹), PG, Aceite (%), Proteínas(%)/Aceite(%), Aceite(%)/granos(mg grano⁻¹) y %hojas verdes en R7) con las características de calidad estudiadas (Casc=Cáscara (mg grano⁻¹), Apt/Desc= Aptitud al descascarado (%), Ceras=concentración de ceras en aceite (mg.g aceite⁻¹), Fosfo=Fosfolípidos (mg.g aceite⁻¹), Tocoferoles (μg.g aceite⁻¹), Ac Sat=Ácidos grasos saturados (%), Oleico=Ácido oleico (%) y Est.Oxi=Estabilidad oxidativa (h). representadas como vectores obtenidos por el análisis de componentes principales. Los símbolos representan a las localidades y la dispersión de valores de cada color representa a los genotipos dentro de localidad, no identificados. Con 2 componentes se explicó el 62.6% de la variabilidad total de 15 características. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta figura.

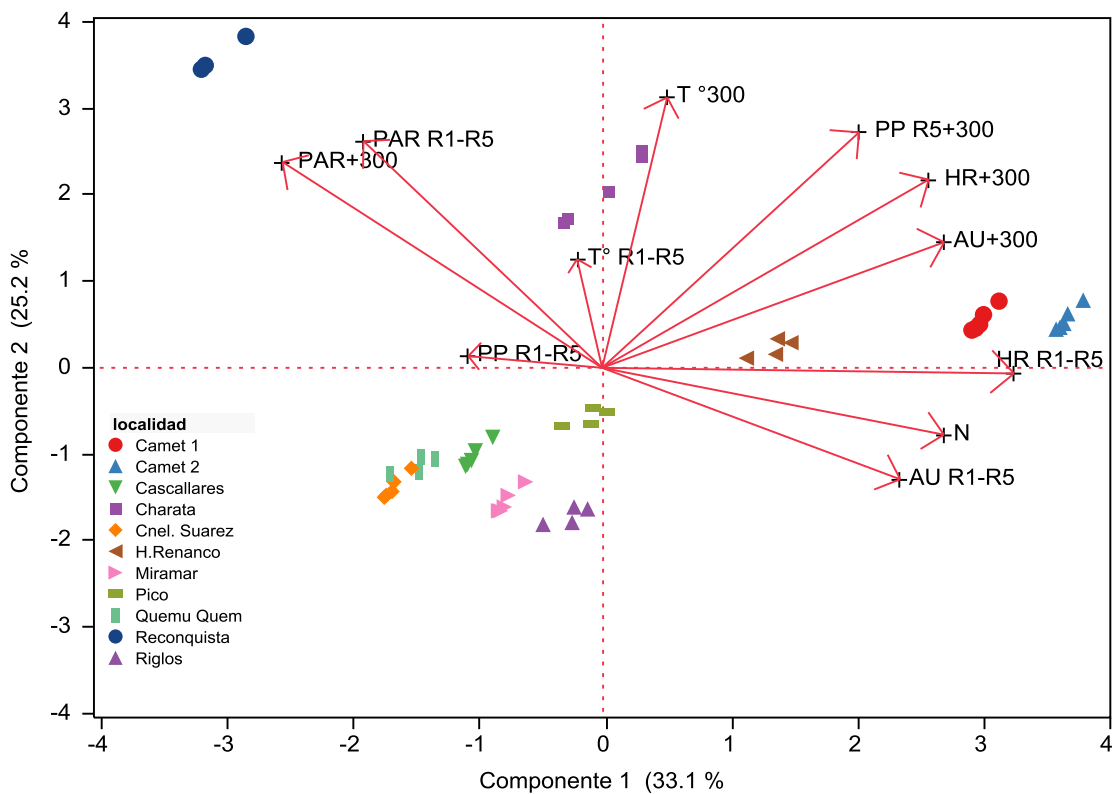


Figura A10.4: Relación entre las características ambientales seleccionadas por etapa ontogénica ($T^{\circ}C$ min, PAR, precipitaciones, HR y AU en las etapas ontogénicas R1-R5 y R5+300 $^{\circ}C$ d y el contenido de nitrógeno inicial en el suelo ($N\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)) representadas como vectores obtenidos por el análisis de componentes principales. Los símbolos representan a las localidades y la dispersión de valores de cada color representa a los genotipos dentro de calidad, no identificados. Con 2 componentes se explicó el 58,3% de la variabilidad total de 15 características. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta Figura.

Tabla A10.1: Análisis de correlación entre aceite (%), proteínas (%), aceite por grano (mg.grano⁻¹) y proteínas(%) / aceite(%) con las características fenotípicas y ambientales detalladas en la tabla. n= número de observaciones, Pearson=Coeficiente de correlación entre la característica detallada como título de columna y la característica detallada en cada fila, p-valor: expresa el grado de significancia de cada coeficiente. Los valores de estabilidad oxidativa no incluyen a la zona NEA. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

Característica	n	Aceite (%)		proteínas (%)		aceite por grano (mg.grano-1)		proteínas(%) / aceite(%)	
		Pearson	p-valor	Pearson	p-valor	Pearson	p-valor	Pearson	p-valor
rendimiento aceite (kg.ha ⁻¹)	55	0,67	<0,0001	-0,6	<0,0001	0,18	0,1866	-0,75	<0,0001
NG (granos.m ⁻²)	55	0,38	0,0046	-0,65	<0,0001	-0,44	0,0009	-0,68	<0,0001
PG (mg.grano ⁻¹)	55	-0,1	0,4708	0,33	0,0146	0,88	<0,0001	0,31	0,0218
granos por planta	55	0,12	0,3992	-0,46	0,0004	-0,4	0,0028	-0,43	0,001
hojas verdes R7 (%)	55	0,3	0,028	-0,33	0,0138	0,36	0,0074	-0,38	0,0048
Aceite (%)	55	1	<0,0001	-0,29	0,0332	0,38	0,0045	-0,62	<0,0001
proteínas (%)	55	-0,29	0,0332	1	<0,0001	0,16	0,2312	0,93	<0,0001
aceite por grano (mg.grano ⁻¹)	55	0,38	0,0045	0,16	0,2312	1	<0,0001	-0,01	0,93
proteínas(%) / aceite(%)	55	-0,62	<0,0001	0,93	<0,0001	-0,01	0,93	1	<0,0001
casaca (%)	55	-0,59	<0,0001	-0,46	0,0004	-0,31	0,0212	-0,14	0,2923
Casaca (mg.grano ⁻¹)	55	-0,43	0,0012	2,20E-03	0,9871	0,55	<0,0001	0,17	0,2128
aptitud al descascarado (%)	55	-0,68	<0,0001	0,15	0,2722	0,14	0,323	0,39	0,0036
%aceite/Casaca (mg.grano ⁻¹)	55	0,68	<0,0001	-0,03	0,8056	-0,26	0,0525	-0,29	0,0296
ceras en grano (mg.grano ⁻¹)	55	0,48	0,0002	0,17	0,2034	0,79	<0,0001	-0,04	0,7507
ceras en aceite (µg.g aceite ⁻¹)	55	0,15	0,2802	0,02	0,8991	-0,23	0,0954	-0,04	0,7454
fosfolípidos (mg.g aceite ⁻¹)	55	-0,19	0,1681	0,35	0,0098	0,22	0,1021	0,37	0,0054
PE (mg.g aceite ⁻¹)	55	-0,18	0,1802	0,38	0,0041	0,33	0,0132	0,4	0,0026
AP (mg.g aceite ⁻¹)	55	-0,12	0,3994	0,26	0,054	0,22	0,1068	0,27	0,0452
PI (mg.g aceite ⁻¹)	55	-0,14	0,3132	0,34	0,0103	0,24	0,082	0,34	0,0118
PC (mg.g aceite ⁻¹)	55	-0,34	0,0113	0,37	0,0053	-1,40E-03	0,9918	0,45	0,0005
tocoferoles (µg.g aceite ⁻¹)	55	-0,15	0,2869	-0,34	0,0103	-0,83	<0,0001	-0,23	0,088
a-tocoferol (µg.g aceite ⁻¹)	55	-0,15	0,2629	-0,34	0,0107	-0,83	<0,0001	-0,23	0,0937
b-tocoferol (µg.g aceite ⁻¹)	55	0,13	0,3456	-0,24	0,0786	-0,49	0,0001	-0,25	0,0684
ácidos saturados (%)	55	0,04	0,7765	-0,43	0,001	-0,04	0,7923	-0,36	0,0067
mirístico (%)	55	0,25	0,067	-0,86	<0,0001	-0,27	0,0422	-0,8	<0,0001
palmitico (%)	55	0,21	0,1271	-0,6	<0,0001	-0,07	0,5987	-0,57	<0,0001
estearico (%)	55	-0,22	0,1033	-0,07	0,6061	0,01	0,9407	0,04	0,7861
oleico (%)	50	-0,61	<0,0001	0,71	<0,0001	0,23	0,1061	0,81	<0,0001
linoleico (%)	55	0,57	<0,0001	-0,69	<0,0001	-0,31	0,02	-0,79	<0,0001
linolenico (%)	55	0,27	0,0504	-0,55	<0,0001	-0,33	0,0148	-0,55	<0,0001
índice de Iodo	55	0,58	<0,0001	-0,68	<0,0001	-0,32	0,0167	-0,78	<0,0001
estabilidad oxidativa (h)	45	-0,45	0,0022	0,37	0,0114	0,07	0,6244	0,53	0,0002
T °C min- R1 - R5	55	-0,23	0,0936	0,54	<0,0001	0,23	0,0932	0,54	<0,0001
PAR- R1 - R5	55	-0,33	0,0144	0,2	0,1436	0,35	0,008	0,29	0,0326
HR- R1 - R5	55	-0,04	0,7743	0,04	0,7565	-0,56	<0,0001	0,05	0,7195
Agua Útil Disponible (mm)-R1 - R5	55	0,31	0,0199	-0,11	0,4224	-0,07	0,5969	-0,21	0,1247
Lluvia (mm)-SUM R1 - R5	55	0,3	0,0276	-0,06	0,6662	0,3	0,0267	-0,17	0,218
T °C min- R5+100-300	55	-0,39	0,0032	0,74	<0,0001	0,23	0,0899	0,75	<0,0001
PAR- R5+100-300	55	-0,25	0,0708	0,19	0,1695	0,45	0,0007	0,25	0,0638
HR- R5+100-300	55	-0,25	0,0603	0,32	0,0172	-0,34	0,0112	0,34	0,0101
Agua Útil Disponible (mm)-R5+100-300	55	-0,01	0,9434	0,41	0,0017	-0,07	0,5864	0,33	0,0125
Lluvia (mm)-SUM R5+100-300..	55	-0,33	0,0144	0,25	0,0617	-0,25	0,0614	0,33	0,0152
T °C min- R5+250-450	55	-0,46	0,0004	0,66	<0,0001	0,25	0,0605	0,72	<0,0001
PAR- R5+250-450	55	-0,29	0,031	0,33	0,0139	0,46	0,0004	0,38	0,0037
HR- R5+250-450	55	-0,24	0,0825	-0,08	0,5678	-0,45	0,0006	0,02	0,8912
Agua Útil Disponible (mm)-R5+250-450	55	-0,31	0,0214	0,4	0,0024	-0,21	0,1317	0,44	0,0008
Lluvia (mm)-SUM R5+250-450..	55	-0,25	0,0622	-0,05	0,7289	-0,07	0,6365	0,06	0,6743
T °C min- R5+300	55	-0,36	0,0075	0,72	<0,0001	0,23	0,0919	0,73	<0,0001
PAR- R5+300	55	-0,26	0,0518	0,18	0,1976	0,42	0,0016	0,25	0,0647
HR- R5+300	55	-0,25	0,0645	0,32	0,0176	-0,32	0,0172	0,34	0,0106
Agua Útil Disponible (mm)-R5+300	55	0,04	0,784	0,34	0,0111	-0,06	0,6465	0,26	0,0576
Lluvia (mm)-SUM R5+300	55	-0,39	0,0031	0,33	0,013	-0,2	0,1496	0,41	0,002
N (kg×ha ⁻¹)	55	0,22	0,1048	-0,22	0,1112	-0,5	0,0001	-0,28	0,036

Tabla A10.2: Análisis de componentes principales. Factores de carga vectorial correspondientes a los diferentes análisis de componentes principales realizados en función de la agrupación de ambientes. CP: Componente principal. Autovalor: porcentaje de la variabilidad capturada por cada eje. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta tabla.

			Factores de carga vectorial											
Características	Variable	Abreviatura/ Autovalores	COMPLETO				SUR - OESTE				NEA - QQ			
			CP1	CP2	CP3	CP4	CP1	CP2	CP3	CP4	CP1	CP2	CP3	CP4
			31.29	22.5	11.2	10.3	36.7	19.1	14	8.3	43.9	25.6	12.2	8.3
Fenotípicas Directas	Cascara (g)	Casc	0.26	-0.13	-0.07	-0.19	-0.54	-0.35	0.30	0.64	-0.28	0.59	-0.41	0.60
	aptitud al descascarado (%)	Apt Desc	0.25	0.07	-0.21	-0.15	0.10	-0.56	0.32	0.59	0.51	0.17	-0.53	0.55
	ceras en aceite (mg*k aceite-1)	Ceras	-0.13	0.17	0.23	-0.23	0.59	0.06	-0.53	-0.28	-0.67	-0.15	0.08	0.19
	ceras*grano (mg*grano-1)	ceras/grano	0.10	-0.10	0.49	-0.15	-0.23	0.62	-0.61	0.00	-0.67	0.29	0.47	0.32
	fosfolípidos (mg* g aceite ⁻¹)	Fosfo	0.18	-0.08	-0.09	0.33	-0.49	0.05	0.44	-0.44	0.57	-0.18	0.53	0.14
	tocoferoles (mg*k aceite-1)	Toco	-0.24	0.19	-0.26	-0.10	0.74	-0.49	0.10	-0.02	0.07	-0.09	-0.86	-0.09
	ácidos saturados (%)	AcSat	-0.06	-0.28	-0.26	0.15	-0.72	-0.17	0.47	-0.15	-0.22	0.50	-0.74	0.04
	oleico (%)	oleico	0.30	0.16	0.05	0.03	0.69	0.20	0.39	0.49	0.62	-0.63	-0.14	0.43
	estabilidad oxidativa (h)	Est. Oxi	0.32	0.12	-0.01	-0.04	0.45	-0.10	0.52	0.18	0.88	0.18	-0.06	0.05
Fenotípicas Indirectas	rendimiento aceite (kg*ha ⁻¹)	Rinde	-0.19	-0.22	0.18	-0.20	-0.47	-0.06	-0.72	0.32	-0.97	0.12	0.14	-0.08
	peso de mil granos (gr)	PG	0.30	-0.13	0.21	-0.06	-0.69	0.45	-0.04	0.48	0.03	0.76	0.23	0.58
	Acceite (%)	Acceite	-0.17	-0.20	0.36	0.03	-0.46	0.61	-0.50	-0.11	-0.78	0.00	0.54	-0.18
	aceite por grano (mg*grano ⁻¹)	aceite/grano	0.19	-0.22	0.36	-0.04	-0.68	0.59	-0.25	0.28	-0.44	0.63	0.49	0.33
	proteínas/aceite	Prot/Ac.	0.22	0.23	-0.04	0.14	0.64	0.14	0.38	-0.26	0.78	-0.49	-0.08	-0.21
	hojas verdes R7 (%)	hojas verdes R	-0.03	-0.33	-0.01	0.09	-0.80	-0.01	0.01	0.10	-0.75	-0.04	0.14	0.27
Ambientales	T °C min- R1-R5	T° R1-R5	0.19	0.06	0.06	0.39	-0.50	0.64	0.48	0.09	0.56	-0.74	0.19	0.28
	PAR-R1-R5	PAR R1-R5	0.22	0.00	-0.03	-0.33	0.09	-0.66	-0.50	0.37	0.28	0.91	0.00	-0.29
	HR-R1-R5	HR R1-R5	-0.18	0.25	0.07	0.18	0.72	0.21	-0.17	0.02	0.70	-0.62	0.21	0.24
	Agua Útil Disponible (mm)-R1-R5	AU R1-R5	-0.17	0.02	0.23	0.20	0.13	0.58	-0.05	0.31	-0.76	-0.61	-0.14	0.15
	Lluvia (mm)-SUM R1-R5	PP R1-R5	0.04	-0.17	0.00	0.32	-0.54	0.53	0.55	-0.09	0.69	0.68	0.14	-0.20
	T °C min- R5+300	T°+300	0.23	0.22	0.14	0.25	0.51	0.77	0.31	0.11	0.92	-0.23	0.22	0.14
	PAR- R5+300	PAR+300	0.23	-0.08	-0.07	-0.20	-0.84	-0.41	-0.08	-0.09	0.43	0.83	0.04	-0.32
	HR- R5+300	HR+300	-0.02	0.37	0.13	-0.13	0.90	0.14	-0.17	0.13	0.92	0.28	0.19	0.05
	Agua Útil Disponible (mm)- R5+300	AU+300	-0.04	0.21	0.24	0.28	0.43	0.72	0.06	0.13	0.94	-0.19	0.23	0.07
	Lluvia (mm)-SUM R5+300	PP R5+300	0.05	0.34	0.09	-0.14	0.94	0.22	0.01	0.10	0.56	0.72	0.00	0.32
	N (kg*ha ⁻¹)	N	-0.25	0.18	0.03	-0.07	0.71	0.10	-0.15	0.14	-0.85	-0.47	-0.16	0.15

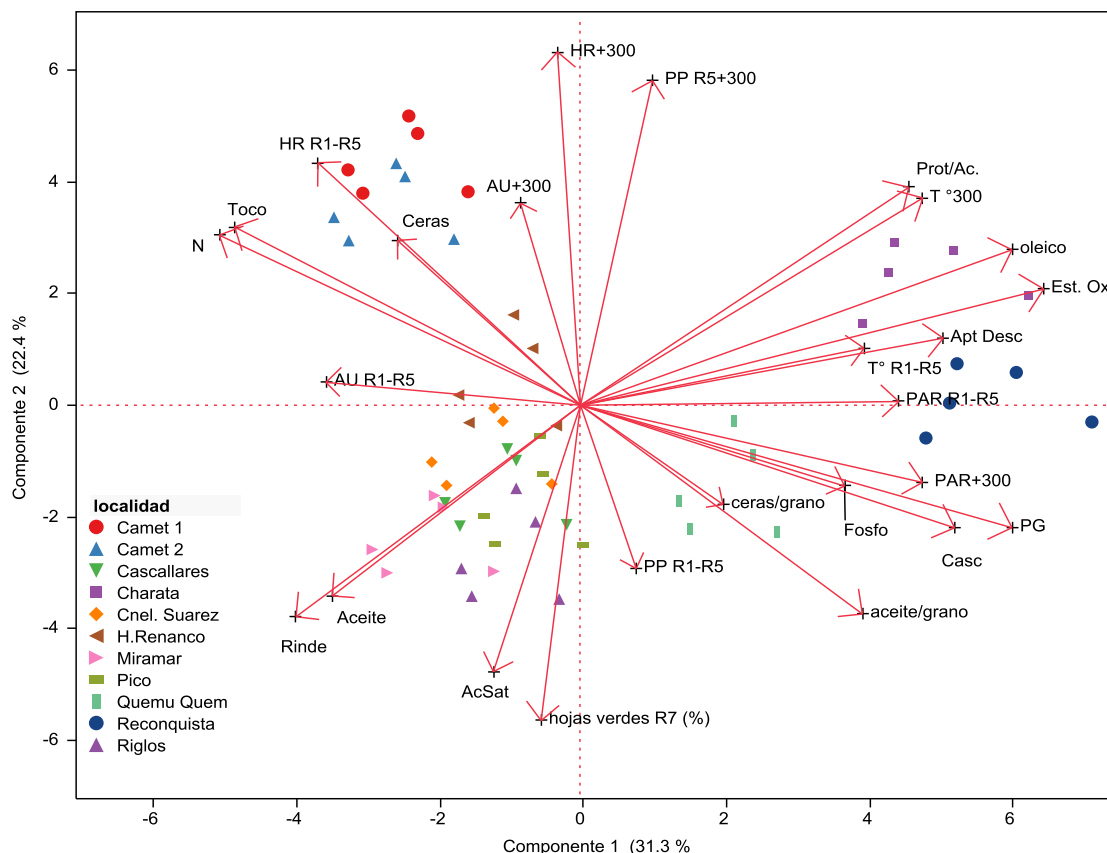


Figura A10.5: Relación entre las características de calidad estudiadas (Casc=Cáscara (mg.grano-1), Apt/Desc= Aptitud al descascarado (%),Ceras=concentración de ceras en aceite (mg.g aceite-1), Fosfo=Fosfolípidos (mg.g aceite-1), Tocoferoles (μg.g aceite-1), Ac Sat=Ácidos grasos saturados (%), Oleico=Ácido oleico (%) y Est.Oxi=Estabilidad oxidativa (h), con características fenotípicas (rendimiento aceite (kg-ha-1), PG, Aceite (%). Proteínas(%)/Aceite(%), Aceite(%)/granos(mg.grano-1) y %hojas verdes en R7) y factores ambientales (T°C min, PAR, precipitaciones, HR y AU en las etapas ontogénicas R1-R5 y R5+300°Cd y el contenido de nitrógeno inicial en el suelo (N kg-ha⁻¹)) seleccionados, representadas como vectores obtenidos por el análisis de componentes principales. Los símbolos representan a las localidades y la dispersión de valores de cada color representa a los genotipos dentro de localidad, no identificados. Con 2 componentes se explicó el 53,8% de la variabilidad total de 26 características. Consultar índice de abreviaturas, página xviii del cuerpo principal de tesis, para el significado de aquellas otras abreviaturas utilizadas en esta figura.